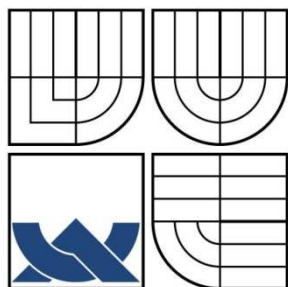
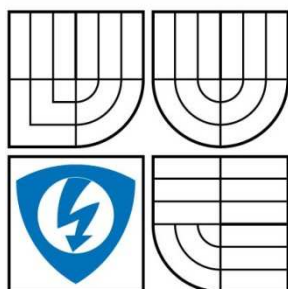


Metody návrhu desek plošných spojů



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

METODY NÁVRHU DESEK PLOŠNÝCH SPOJŮ

METHODS OF PRINTED CIRCUIT BOARD DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAROSLAV CIRKOVSKÝ

VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. NORBERT HERENCSÁR

BRNO 2008

LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Jaroslav Cirkovský

Bytem: Brigádnická 301, Sedlec-Prčice, 25791

Narozen/a (datum a místo): 15.04.1986, Benešov

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- ☐ disertační práce
 - ☐ diplomová práce
 - ☐ bakalářská práce
 - ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako
- (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Metody návrhu desek plošných spojů

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Norbert Herencsár

Ústav: Telekomunikací

Datum obhajoby VŠKP:

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v * :

- ☐ tištěné formě – počet exemplářů
- ☐ elektronické formě – počet exemplářů

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Anotace

Hlavním cílem bakalářské práce bylo seznámení s problematikou návrhu desek plošných spojů a vytvoření videí multimediálního charakteru. V první části se zabývám problematikou tříd přesnosti, miniaturizací, použitými pouzdry s různými druhy vývodů. Následují kapitoly řeší elektromagnetickou kompatibilitu a to z pohledu základních pravidel, které se musí dodržet aby byla co nejlepší funkčnost desky plošného spoje. Další problematikou jsou součástky zvyšující spolehlivost DPS a porovnání metod návrhu DPS. Závěrečná část bakalářské práce pojednává o výstupech potřebných v praxi a to je technická, výkresová dokumentace a technologie výroby plošných spojů. A v poslední kapitole popisují vytvořené multimediální pomůcky, které nám ukáží a pomohou s navrhováním desek plošných spojů pomocí programu Eagle.

Klíčová slova:

Miniaturizace, pouzdra BGA, elektromagnetická kompatibilita, aspect ratio, součástky zvyšující spolehlivost, technická a výkresová dokumentace, metody návrhu, technologie výroby

Abstract

The main purpose of my bachelor thesis was to acquaint with issues of printed circuit boards and to create multimedia videos. The first part deals with questions of the accuracy, miniaturization and applied cases with different outlets. Following chapters dissert on electromagnetic compatibility from the view of basic rules, which have to be observed in order to reach the best functionality of the printed circuit board. There are also other issues - components increasing the reliability of printed circuit board and the comparing of methods of printed circuit board design. The final part of my bachelor thesis discusses outputs which are necessary in practice. This includes technical and design documentation and the technology of production the printed circuit. The last chapter describes created multimedia utilities which help us with printed circuit boards design via the program Eagle.

Key words

miniaturization, BGA cases, electromagnetic compatibility, aspect ratio, components increasing reliability, technical and design documentation, methods of design, technology of production

Bibliografická citace

CIRKOVSKÝ, J. Metody návrhu desek plošných spojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Norbert Herencsár.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Metody návrhu desek plošných spojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

..... podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Norbertu Herencsárovi , asistentovi ústavu telekomunikací, za velmi užitečnou a metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

V Brně dne

..... podpis autora

Obsah

1	Úvod	- 10 -
2	Třídy přesnosti.....	- 11 -
2.1	<i>Miniaturizace</i>	<i>- 12 -</i>
2.2	<i>Typy pouzder.....</i>	<i>- 14 -</i>
2.2.1	<i>Pouzdra s páskovými vývody</i>	<i>- 15 -</i>
2.2.2	<i>Pouzdra BGA</i>	<i>- 16 -</i>
3	Elektromagnetická kompatibilita EMC	- 18 -
3.1	<i>Legislativa a normy EMC</i>	<i>- 20 -</i>
3.2	<i>Součástky a EMC</i>	<i>- 22 -</i>
3.3	<i>Návrh plošných spojů z hlediska EMC.....</i>	<i>- 23 -</i>
3.3.1	<i>Základní pravidla</i>	<i>- 23 -</i>
3.3.2	<i>Rozmístění součástek</i>	<i>- 25 -</i>
3.3.3	<i>Řazení vrstev plošného spoje</i>	<i>- 25 -</i>
3.3.4	<i>Zemnění</i>	<i>- 26 -</i>
3.3.5	<i>Aspect Ratio</i>	<i>- 26 -</i>
3.3.6	<i>Elektromagnetické pole vyzařované proudovou smyčkou</i>	<i>- 27 -</i>
3.3.7	<i>Souhlasné a nesouhlasné rušení</i>	<i>- 28 -</i>
4	Součástky zvyšující spolehlivost DPS.....	- 29 -
4.1	<i>Blokovací kondenzátory</i>	<i>- 29 -</i>
4.2	<i>Filtrace vstupu a výstupu na plošném spoji</i>	<i>- 30 -</i>
4.3	<i>Galvanické oddělení a přemostění</i>	<i>- 31 -</i>
5	Tvorba technické dokumentace.....	- 33 -
5.1	<i>Požadavky na provedení a kvalitu matric a předloh.....</i>	<i>- 33 -</i>
5.2	<i>Výkresová dokumentace k plošným spojům</i>	<i>- 34 -</i>
6	Porovnání metod návrhu DSP.....	- 37 -
7	Technologie výroby plošných spojů	- 39 -
7.1	<i>Výroba dvouvrstevných DPS.....</i>	<i>- 39 -</i>
7.1.1	<i>Subtraktivní technologie</i>	<i>- 39 -</i>
7.1.2	<i>Aditivní technologie</i>	<i>- 40 -</i>
7.1.3	<i>Semiaditivní technologie</i>	<i>- 41 -</i>
7.2	<i>Výroba vícevrstevných desek plošných spojů.....</i>	<i>- 45 -</i>
8	Popis vytvořených multimediálních pomůcek	- 46 -
9	Závěr	- 48 -
	Literatura	- 49 -
	Příloha I: Soubor pravidel návrhu desek plošných spojů	- 50 -
	Příloha II: Obsah přiloženého DVD	- 52 -

1 Úvod

Jako téma pro vypracování bakalářské práce jsem si vybral oblast zabývající se metodami návrhu desek plošných spojů. Čtenáře mé bakalářské práce bych chtěl seznámit s technikami návrhu, zásadami, které je potřeba dodržet pro správnou funkčnost desky plošného spoje, technologií výroby apod.

Tato práce je rozdělena do několika hlavních kapitol, které jsou důležité pro správné navržení desky plošného spoje. V první části jsou popsány třídy přesnosti, miniaturizace součástek, používaná pouzdra a základní parametry. Další kapitolou a důležitou částí je elektromagnetická kompatibilita, ve které popisuji co vůbec elektromagnetická kompatibilita je, přibližuji základní pojmy, jež jsou názorně ukázány na obrázku, uvádím příklady používaných norem, které se používají v České republice, problémy spojené s elektromagnetickou kompatibilitou a jaký vliv má elektromagnetická kompatibilita na návrh desky plošného spoje. Tato kapitola také obsahuje pravidla, která máme dodržet pro správný návrh a funkčnost desky plošného spoje, jak by se měly správně rozmístit součástky, zemnění, popis pravidla 20H a důležitý parametr Aspect Ratio. Následující kapitola se zabývá elektronickými součástkami, jež se používají při výrobě desek plošných spojů, jejich bližší popis a v neposlední řadě také postupy, které nám umožňují zlepšit funkčnost. Uvádím zde příklady výpočtů různých blokovacích kondenzátorů, problematiku filtrace vstupu a výstupu na plošném spoji a galvanického oddělení a přemostění. Znalost této problematiky nám pomáhá při konstrukci. Pro představu jsem zpracoval tvorbu technické a výkresové dokumentace pro desky plošných spojů, ve kterých jsou vysvětleny základními pojmy a značky, které se používají v dokumentaci. Poslední kapitola obsahuje porovnání základních metod návrhu desek plošných spojů.

Hlavními výstupy bakalářské práce jsou videa multimediálního charakteru zabývající se návrhem a realizací desky plošného spoje podle zadání. V příloze lze nalézt soubor pravidel návrhu desek plošných spojů nutných pro optimální činnost realizovaného zařízení.

2 Třídy přesnosti

V současné době v České republice neexistují žádné platné státní normy ohledně třídy přesnosti. V dřívějších dobách platily podnikové normy, ve kterých se odrážely konkrétní technologické možnosti jednotlivých podniků, vyrábějících plošné spoje (Např. Tesla Přelouč, ZAVT, atd.). Třídy přesnosti definují parametry základních objektů na plošném spoji, jako je např. minimální šířka spojů, izolační vzdálenost, minimální průměr vrtaného otvoru a minimální rozměr pájecí vrtané plošky.

Nejčastěji se používají následující jednotky:

- 1 inch = 2,54 cm
- 1 mil = 0,001 inch = 0,025 mm
- 1 mm = 39,37 mil

V tab. 2.1 jsou uvedeny všechny třídy přesností a parametrů a následně v tab. 2.2 jen nejdůležitějšími položkami ve třech nejpožívanějších třídách přesností [3].

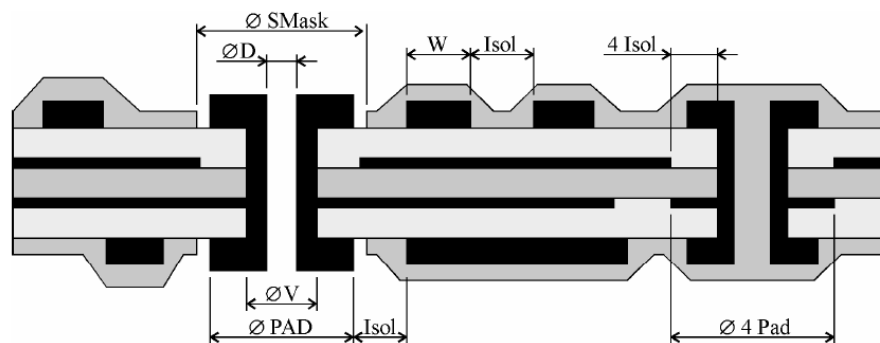
Tab. 2.1: *Třídy přesností a parametrů*

Parametr	Třída					
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Vzdálenost středů pájecích bodů [mm]	5	3,54	2,5	2,5	2,5	2,5
Počet vodičů procházejících mezi pájecími body [-]	1	0	0	1	2	3
Minimální průměr vrtaného otvoru pájecího bodu d [mm]	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7
Minimální průměr pájecí plošky $d+$ [mm]	1,9	1,45	1,05	0,7	0,5	0,5
Minimální šířka plošných vodičů [mm]	0,50	0,40	0,35	0,30	0,20	0,15
Minimální šířka izolačních mezer [mm]	0,9	0,7	0,45	0,35	0,25	0,20

Tab. 2.2: *Třídy přesnosti*

Třída přesnosti:	4	5	6
Šířka spoje (W)	12	8	6
Isolační vzdálenost (Isol)	12	8	6
Průměr vrtáku ($\emptyset V$)	28	20	16
Průměr pájecí plošky ($\emptyset PAD$)	$\emptyset V + 24$	$\emptyset V + 16$	$\emptyset V + 12$
Průměr nepájivé masky ($\emptyset SMask$)	$\emptyset PAD + 10$	$\emptyset PAD + 8$	$\emptyset PAD + 6$

Všechny údaje jsou v milech (1 mil = 0,001 inch = 0,0254 mm). Význam jednotlivých položek je vysvětleno na obr. 2.1. Jedná se o kompilát údajů několika vybraných výrobců. Před návrhem plošných spojů je nutné se obrátit na konkrétního výrobce a vyžádat si od něj nejen aktuální parametry tříd přesnosti, ale i veškeré další technické a obchodní podmínky. U vícevrstvých spojů se navíc obvykle definují izolační vzdálenosti a průměry plošek ve vnitřních vrstvách (4 Isol a 4 Pad). V závislosti na přesnosti sesazování jednotlivých vrstev a přesnosti jejich následného vrtání výrobce požaduje zvětšení těchto parametrů oproti standardním hodnotám o 4 až 8 milu.



Obr. 2.1: Vyznačení parametru tříd přesnosti

ØPAD.....průměr pájecí plošky

ØSMask.....průměr nepáživé masky

ØV.....průměr vrtáku

ØD.....průměry otvorů

V knihovných návrhového systému budou mít pájecí plošky a prokovy nastaveny také průměr ØD . Na základě tohoto faktu při definici rozměru plošek k údaji ØPAD a ØSMask je potřebné připočítat rozdíl mezi ØV a ØD , který činí zpravidla 4 milly (0,1 mm). Konečný průměr otvoru z pravidla stanovujeme jako průměr nožičky součástky plus 8 milu (0,2 mm).

Pro názornou ukázkou předvedu příklad výpočtu:

Pro pájecí plošku ve 4. třídě přesnosti tedy pro vývod součástky o průměru 24 milu (0,6mm) je potřeba zadávat (v milech):

- Průměr otvoru $\text{ØD} = 24 + 8 = 32 = \text{vývod součástky} + 8 \text{ milu}$,
- Průměr pájecí plošky $\text{ØPAD} = 32 + 4 + 24 = 60 = \text{otvor} + \text{nakovení} + \text{min. pájecí ploška}$,
- Průměr nepáživé masky $\text{ØSMask} = 60 + 10 = 70 = \text{pájecí ploška} + \text{min. nepáživá maska}$.

2.1 Miniaturizace

Při klasické montáži jsou součástky s drátovými přívody po předchozím natvarování a ostřížení zasouvány do prokovených nebo neprokovených děr desky s plošnými spoji a následně zapájeny ze strany plošných spojů. Technika povrchové montáže, kterou se chci zabývat předpokládá využití bezvývodových součástek, případně součástek s vývody, které se pájejí přímo na povrch desky s plošnými spoji. Na obr. 2.2 jsou ukázány typy přívodů součástek pro konkrétní povrchovou montáž [3].

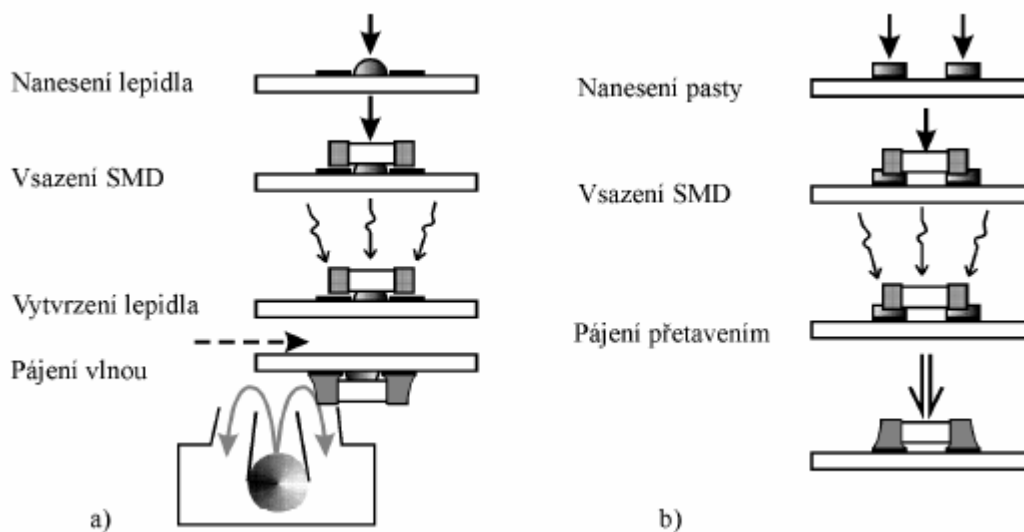


Obr. 2.2: Typy přívodů součástek pro povrchovou montáž

V moderních elektronických zařízeních stále více převládá technologie povrchové montáže. Její výhody jsou všeobecně známy - podstatně menší rozměry a hmotnost výrobků, vysoké úspory materiálu a zlevnění průmyslové výroby zejména při velkých výrobních sériích osazovaných na automatech. K tomu se přidávají i výhody další, lepší parametry u impulsních a vysokofrekvenčních zařízení, vyšší odolnost vůči vibracím a nárazům - tedy vyšší spolehlivost. V terminologii povrchové montáže se používají dvě základní zkratky:

- **SMT (Surfaces Mounted Technology)** = technologie povrchové montáže.
- **SMD (Surface Mounted Devices)** = součástky pro povrchovou montáž.

Odlišný způsob osazování a pájení klade specifické nároky na počítačový návrh plošných spojů, týkající se zejména tvorby pouzder součástek, rozmístění součástek a způsobu vedení spojů. Pro hromadné pájení velkých sérií plošných spojů se řadu let používá technologie pájení vlnou (*wave soldering*). Při pájení součástek pro povrchovou montáž pomocí této metody je nutné součástky předem na plošný spoj přilepit. Zásadní obrat v montážních technologiích nastal se zavedením nové technologie pájení přetavením (*reflow*). Pájka je nanášena na kontaktní plošky desky plošného spoje předem v podobě pasty (sítotiskem nebo dispenzerem). Do ní jsou osazovány součástky a nakonec je takto osazená deska ohřátá na teplotu, která zajistí přetavení pájky. Postup při osazování a pájení SMD vlnou a přetavením znázorňuje obr. 2.3.



Obr. 2.3: Postup při osazování a pájení SMD a) vlnou, b) přetavením

Při tvorbě pouzder SMD součástek v knihovnách návrhového systému je nutné správně definovat zejména:

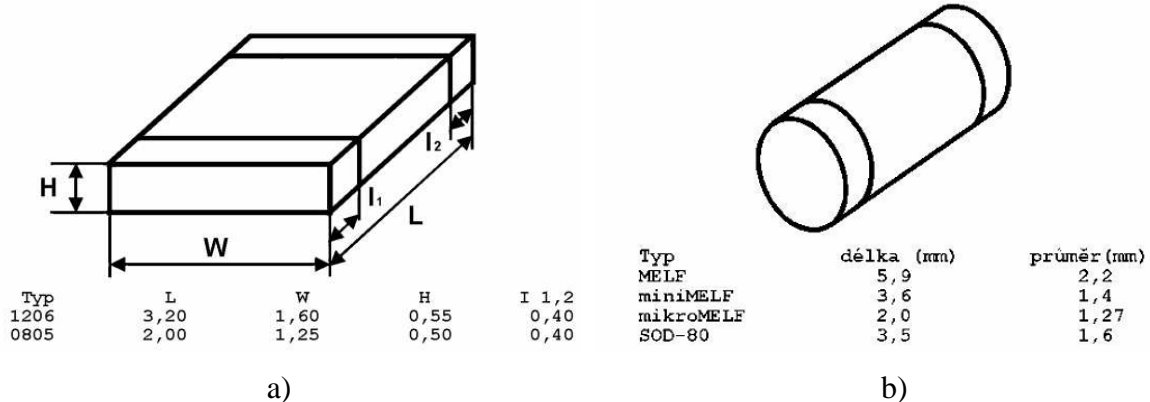
- **Pájecí plošky** – je vhodné dbát doporučení katalogových listů a aplikačních zpráv pro danou součástku respektive typ jejího pouzdra, kde zpravidla bývá uveden vhodný rozměr a umístění pájecích plošek.
- **Nepájivou masku** – Rozměr nepájivé masky, respektive její odstup od pájecích plošek je dán třídami přesnosti.
- **Plochu pro nanesení pájecí pasty** – pro pájení přetavením se musí nadefinovat plošky, na které bude nanesena pájecí pasta. Velikost plošek pro pájecí pastu se doporučuje o 10 až 20% menší než je rozměr plošek ve vrstvě mědi. V knihovnách

pouzder součástek postačí rozměry plošek ve vrstvě pájecí pasty ponechat shodné s rozměry ve vrstvě mědi a úpravu na správný rozměr ponechat na firmě, která bude nanášení pasty a osazování provádět.

- **Místo pro lepidlo** – pro pájení vlnou je nutné nadefinovat místo kam bude metodou sítotisku nebo dispenzerem (dávkovačem) nanášeno lepidlo. Nanášení dispenzerem je vhodnější, neboť velikostí dávky je možné nadefinovat výšku kapek lepidla pro každou součástku zvlášť.
- **Referenční bod** – pro uchycení součástky osazovacím automatem. Tento bod se zpravidla stanovuje do geometrického středu součástky.
- **Plochu vymežující obrys součástky** – tento obrys je zpravidla větší, než je vlastní rozměr součástek. Obzvláště při pájení vlnou je totiž nutné dodržet minimální vzájemné odstupy součástek. Jejich porušení by mohlo znamenat, že některé pájecí plošky budou ve „stínu“ vlny a nebudou správně připájené.

2.2 Typy pouzder

U pasivních prvků tj. rezistorů a kapacitorů se nejčastěji setkáme s pouzdry ve tvaru kvádrů. Velikost pouzdra je označena čtyřmístným kódem, který se skládá z dvou cifer vyjadřujících délku a dvou vyjadřujících šířku kvádrů v setinách palce (1 palec = 25,4 mm). Tento kód velikosti pouzdra budeme potřebovat při nákupu součástek. V obchodech lze běžně koupit velikosti 1206 a 0805 ale existují i mnohé jiné. Přesná velikost pouzder 1206 a 0805 je naznačena na obr. 2.4a [9].

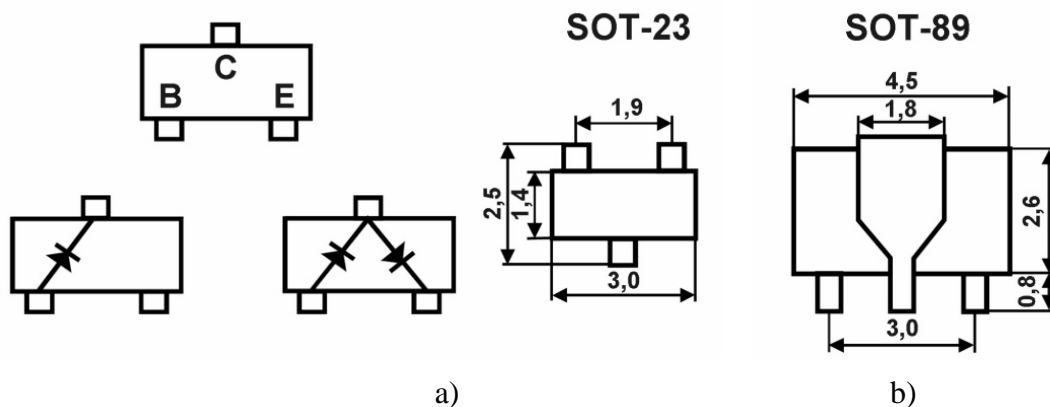


Obr. 2.4: a) velikost pouzder 1206 a 0805, b) pouzdro signálové diody

Nejlépe se v současné době shání prvky ve velikosti 0805. V této velikosti se vyrábí i cívky vinuté na jádru z feromagnetika, indukčnost je ale jen poměrně nízká, kolem jednotek mikrohenry. Cívka je typickým prvkem, jehož miniaturizace a provedení pro SMD je obtížné a často nemožné.

Vedle pouzder tvaru kvádrů se setkáme i s pouzdry válcovými. Pro vyjádření jejich velikosti slouží slovní označení MELF, miniMELF a mikroMELF. V obdobných pouzdrech SOD80 se vyrábí signálové diody. Pouzdro signálové diody je ukázán na obr. 2.4b.

Diody a tranzistory pro malé proudy se nejčastěji vyskytují v třívývodovém SOT23. Pouzdro SOT23 je ukázán na obr 2.5a.



Obr. 2.5: Pouzdra: a) SOT23, b) SOT89

Je-li součástí označení tranzistoru na posledním místě písmeno „R“, jedná se o provedení s prohozeným umístěním emitoru a báze (kvůli snazšímu návrhu plošných spojů). Výkonové prvky až do 1W se umísťují do pouzder SOT89, jehož střední vývod se potom připájí k větší plošce mědi na plošném spoji a plní funkci chladiče (viz. obr. 2.5b) [10].

Jednou z překážek limitujících další zmenšování rozměru pouzder je nutnost rozptýlit vznikající teplo při funkci prvku. Proto u prvků s výkonovou ztrátou nad 0,5W je lepší použít provedení, které se snadno spojí s chladičem potřebné velikosti.

Tab. 2.3: Rozměry vybraných pouzder a pájecích plošek (rozměry v milích)

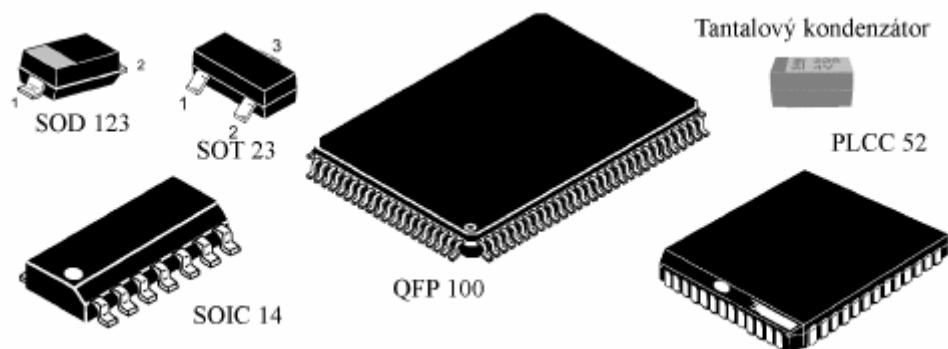
Pouzdro	W/B	L	H	T	X	Y	A
1206	60	120	22	16	60	60	70
0805	50	80	20	12	50	50	34
0402	20	40	12	4	22	22	20
MELF (MLL41)	Ø100	200	-	20	114	60	132
MiniMELF (MLL34)	Ø63	140	-	16	80	56	76

2.2.1 Pouzdra s páskovými vývody

Do této skupiny patří především následující pouzdra:

- **Tantalové kondenzátory** – pouzdra s přívody typu „zahnuté pásky“.
- **SOD, SOT** – pouzdra pro diody a tranzistory (**S**mall **O**utline **D**iode, **T**ransistor).
- **SOIC** – pouzdra pro integrované obvody s vývody na dvou protilehlých stranách (**S**mall **O**utline **I**ntegrated **C**ircuit). Rozteč vývodu v řadě je 50 milu, vzdálenost jejich řad 150 nebo 300 milu. Integrované obvody se vyrábí většinou v pouzdrech SO-8 až SO-16 nebo SO-8L až SO-28L. Jde o pouzdra s vývody ve dvou řadách po straně (jako klasické DIL), rozměry jsou v tabulce.
- **QFP** – čtvercová nebo obdélníková pouzdra s vývody na čtyřech stranách (**Q**uad **F**lat **P**ack). Rozteč vývodu se v současné době pohybuje od 12 do 50 milu.
- **PLCC** – čipové nosiče s vývody typu „J“ (**P**lastic **L**eaded **C**hip **C**arrier). Tato pouzdra se často zasouvají do patic a rozteč jejich vývodu je 50 milu.

Uvedené pouzdra jsou graficky naznačeny na obr. 2.6 a přesné rozměry v tab. 2.4.



Obr. 2.6: Příklady pouzder s páskovými vývody

Tab. 2.4: Rozměry pouzder pro integrované obvody

Typ	Délka	Šířka
SO 8	4,9	4,0
SO 14	8,8	4,0
SO 16	10,0	4,0
SO 8L	8,0	7,6
SO 16L	10,5	7,6
SO 20L	13,0	7,6

Pájecí plošky pro součástky s páskovými vývody musí být větší než je půdorys vývodu a jejich konkrétní rozměry jsou pro jednotlivé typy pouzder doporučeny. Pájecí plošky pro tantalové kondenzátory jsou uvedeny v tab. 2.5.[7] W_1 je šířka vývodu a je odlišná od šířky celé součástky W (rozměry v milích).

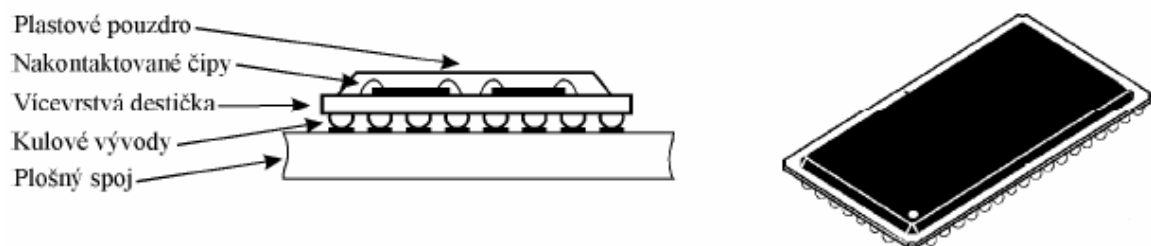
Tab. 2.5: Rozměry vybraných pouzder a pájecích plošek tantalových kondenzátorů

Pouzdro	W	L	H	W_1	T	X	Y	A
A (3216)	60	126	63	46	32	54	80	32
B (3528)	110	138	75	86	32	94	80	48
C (6032)	126	236	100	86	32	94	96	126
D (7243)	183	284	110	94	32	102	96	166

Např. vývody pouzder SOIC 16x32 milu mají doporučenou pájecí plošku 25x80 milu, u PLCC je doporučeno při rozměru plošky 16x70 milu použít plošky 25x80 milu a u QFP vývodu 10x25 milu plošku 12x60 milu. Obecně šířka plošek by neměla být větší než polovina rozteče vývodu součástky.

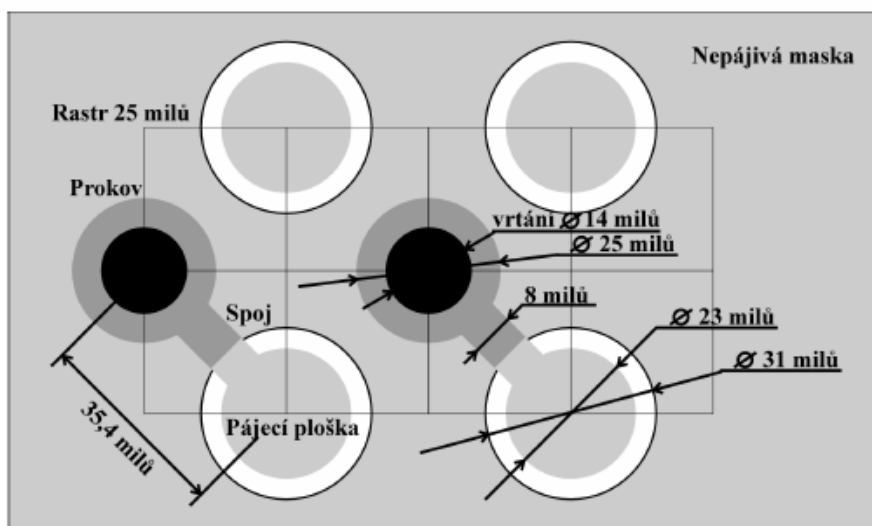
2.2.2 Pouzdra BGA

Velmi rozšířeným pouzdrem, určeným pro montáž do děr nebo do patice, bylo **PGA** (**P**in **G**rid **A**rray). Toto pouzdro bylo vyvinuto pro hradlová pole a procesory v počítačích. Má čtvercový tvar a vývody umístěné na spodní straně základny. Rozteč pinu je 100 milu a nelze ji snižovat, protože nelze více zmenšovat průměr vývodu a tedy i průměr vrtaného otvoru v plošném spoji. Miniaturizace těchto pouzder je tedy možná pouze záměnou kolíkových vývodů za kulovité vývody, které budou osazovány technologií povrchové montáže. Tímto způsobem vznikly pouzdra **BGA**. Princip pouzdra BGA je uveden na obr. 2.7.



Obr. 2.7: Princip pouzdra BGA

Pro pouzdra BGA jsou doporučeny pájecí plošky o průměru 24 milů, nepájivá maska 31 milů, propojení do dalších vrstev plošného spoje pomocí spojů o šířce 8 milů, prokovu o průměru 25 milů, vrtaných vrtákem 14 milů (viz. obr. 2.8).



Obr. 2.8: Doporučené pájecí plošky a prokovy pro BGA

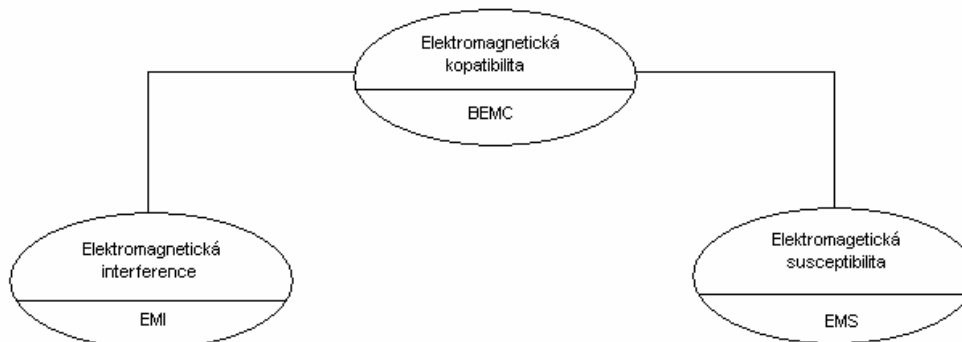
3 Elektromagnetická kompatibilita EMC

Elektromagnetická kompatibilita je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přirodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení [5]. Problematiku EMC lze členit podle mnoha různých hledisek. Celkově lze otázky EMC rozdělit na dvě hlavní oblasti: EMC biologických systémů a EMC technických systémů a zařízení. EMC biologických systémů se zabývá celkovým „elektromagnetickým pozadím“ našeho životního prostředí a přípustnými úrovněmi rušivých i užitečných elektromagnetických signálů s ohledem na jejich vlivy na živé organismy. Například vysokofrekvenční pole způsobují ohřev tkání, působí na centrální nervový systém, a dále i na srdeční, cévní, krvetvorný a imunitní soustavu. Druhá základní oblast, tedy EMC technických systémů a zařízení, se zabývá vzájemným působením a koexistencí technických prostředků, zejména elektrotechnických a elektronických přístrojů a zařízení. Při zkoumání EMC daného zařízení či systému (jak technického, tak biologického) se vychází z tzv. **základního řetězce EMC**.



Obr. 3.1: Základní řetězec EMC

Skutečná souvislost tří oblastí řetězce EMC je samozřejmě mnohem složitější, než je na obr. 3.1. Ve skutečném řetězci EMC se rovněž nikdy nejedná o působení jediného zdroje rušení a jediného přijímače, ale řeší se vždy vzájemné vztahy více systémů vzájemně se všestranně ovlivňujících. Přesto obvykle postupujeme tak, že jeden systém považujeme nejprve za systém ovlivňující (zdroj rušení) a všechny ostatní za systémy ovlivňované (přijímače rušení). Celá problematika EMC člení do dvou základních skupin:



Obr. 3.2: Členění problematiky EMC

Základní pojmy a definice z oblasti EMC jsou obsaženy v mezinárodním elektrotechnickém slovníku, kapitole 161: Elektromagnetická kompatibilita – CSN IEC 50(161). Další pojmy jsou součástí jednotlivých norem, týkajících se konkrétních oborů, jako například nf a vf jevy, ochrana proti rušení, odolnost, měření apod. Většinou jde o normy z rady CSN EN 61000 nebo CSN IEC 1000.

Elektromagnetická susceptibilita (EMS) neboli elektromagnetická citlivost (na rušení) či odolnost (vůči rušení) vyjadřuje schopnost zařízení a systému pracovat bez poruch nebo s přesně definovaným přípustným vlivem v prostředí, v němž se vyskytuje elektromagnetické rušení. EMS se tedy zabývá především technickými opatřeními, která zvyšují u objektu (přijímače rušení) jeho elektromagnetickou imunitu, tedy jeho odolnost proti vlivu rušivých signálů.

Elektromagnetická interference (EMI) neboli elektromagnetické rušení je proces, při kterém se signál generovaný zdrojem rušení přenáší prostřednictvím elektromagnetické vazby do rušených systémů. EMI se tedy zabývá především identifikací zdrojů rušení, popisem a měřením rušivých signálů a identifikací parazitních přenosových cest

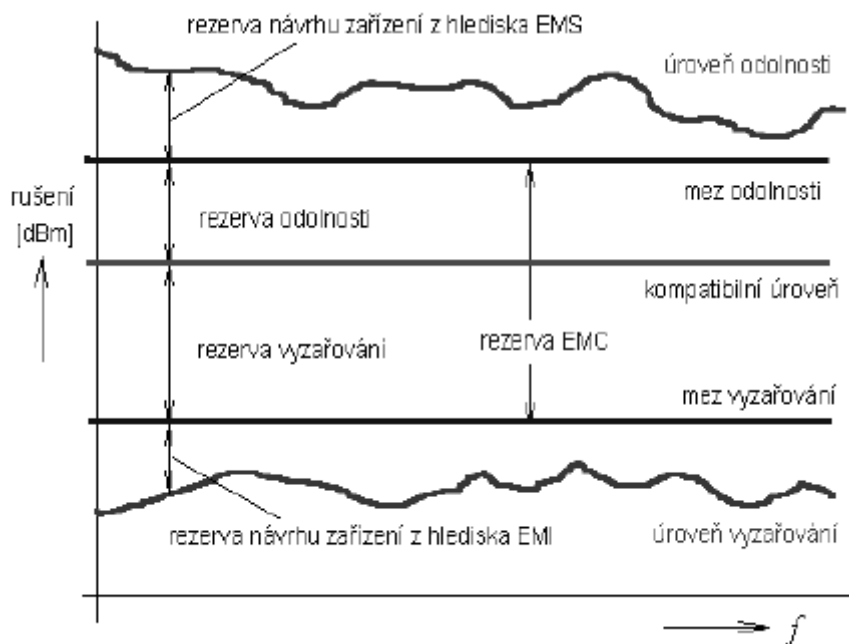
Elektromagnetické prostředí – souhrn elektromagnetických jevů existujících v daném místě.

Elektromagnetické rušení – jakýkoliv elektromagnetický jev, který **muže zhoršit** provoz přístroje, zařízení nebo systému, anebo nepříznivě ovlivnit živou nebo neživou hmotu.

Úroveň vyzařování je rušení generované samotným konkrétním spotřebičem či zařízením, měřené předepsaným způsobem a vyjádřené např. v [dBm] v závislosti na kmitočtu.

Mez interference je maximálně přípustné zhoršení provozu přístroje, zařízení nebo systému, způsobené elektromagnetickým rušením.

Úroveň odolnosti je maximální úroveň rušení působícího na dané zařízení, při němž ještě nedojde ke zhoršení jeho provozu.



Obr. 3.3: Definice úrovní a mezí vyzařování a odolnosti

Mez rušení – je maximálně přípustná úroveň elektromagnetického rušení měřeného předepsaným způsobem.

Odolnost (proti rušení) – schopnost přístroje, zařízení nebo systému být v provozu bez zhoršení charakteristik za přítomnosti elektromagnetického rušení.

Mez vyzařování je maximální přípustná (tj. normou povolená) úroveň vyzařování daného zařízení.

Mez odolnosti je nejnižší normou požadovaná úroveň odolnosti zařízení.

Úroveň odolnosti je maximální úroveň rušení působícího na dané zařízení, při němž ještě nedojde ke zhoršení jeho provozu

3.1 Legislativa a normy EMC

Na mezinárodní úrovni je zastřešující organizací pro celou elektrotechniku mezinárodní elektrotechnická komise IEC (*International Electrotechnical Commission*), v jejímž rámci vznikají veškeré elektrotechnické normy a předpisy, tedy i normy pro oblast EMC. IEC vznikla 4. 9. 1904 v USA. Elektromagnetická kompatibilita je zařazena do celosvětového normalizačního procesu řízeného a koordinovaného mezinárodní organizací pro normalizaci ISO.

Legislativně problematiku EMC v České republice řeší především zákon Parlamentu ČR číslo 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých předpisů. Na něj navazují Nařízení vlády, kterými se stanovují a upřesňují některé pojmy a požadavky zákona 22/1997 Sb. Zákon č. 22/1997 Sb. upravuje mimo jiné způsob stanovování technických požadavků na výrobky, které by mohly ohrozit zdraví, bezpečnost, majetek nebo přírodní prostředí a dále upravuje práva a povinnosti osob, které uvádějí na trh tyto výrobky.

Všechny přístroje, které mohou při své funkci způsobovat elektromagnetické rušení nebo jejichž funkce může být takovým rušením ovlivněna musí být provedeny tak, aby elektromagnetické rušení, které způsobují, nepřesáhlo přípustnou úroveň, a měly odpovídající odolnost vůči elektromagnetickému rušení. Český normalizační institut proto vydává normy, které se týkají elektromagnetické kompatibility, rušení a odolnosti a jsou harmonizované s evropskými a mezinárodními normami. Nás budou při návrhu plošného spoje elektronického zařízení zajímat především normy, týkající se požadavků na zkoušky vyzařování a odolnosti, a dále normy, upřesňující způsob měření. V normách popisujících požadavky na zkoušky nejdříve musíme zjistit meze pro vyzařování a odolnost navrhovaného výrobku. Meze se budou lišit podle prostředí, ve kterém mají být výrobky používány [3].

Prostředí rozlišujeme:

- a) obytné, obchodní, lehký průmysl
- b) průmyslové
- c) speciální

Nebudu uvádět všechny normy, ale zmíním se jen o některých.

Požadavky na zkoušky:

Účelem těchto norem je stanovení mezí a zkušebních metod elektrických zařízení, přístrojů a strojů, které jsou zdrojem elektromagnetického rušení a mohou způsobovat rušení v jiných přístrojích.

- CSN EN 50081-1 EMC – všeobecná norma týkající se vyzařování pro prostory obytné, obchodní a lehký průmysl.
- CSN EN 50081-2 EMC – všeobecná norma týkající se vyzařování v průmyslovém prostředí.

Požadavky na zkoušky:

Tyto normy stanoví požadavky na odolnost elektrických a elektronických zařízení, přístrojů a strojů. Účelem je definovat požadavky na zkoušky odolnosti ve vztahu ke spojitému rušení a rušení přechodnými ději, šířenému jak po vodičích, tak i vyzařováním elektromagnetického pole, včetně elektrostatických výbojů.

- CSN EN 50082-1 EMC – všeobecná norma týkající se odolností pro prostory obytné, obchodní a lehkého průmyslu.
- CSN EN 50082-2 EMC – všeobecná norma týkající se odolností v průmyslové prostředí.

Měření a zkušební uspořádání – vyzařování:

Měří se dva typy vyzařování. Jednak vyzařování rušivého elektromagnetického pole a jednak vyzařování svorkového rušivého napětí. Elektromagnetické pole se měří logaritmickoperiodickou anténou v rozsahu 30 až 1000 MHz a ve vzdálenosti 10 m/30 m nesmí překročit 30 až 47 dB(μ V/m). Rušivé napětí na svorkách nesmí překročit 46 až 66 dB v kmitočtovém rozsahu 0,15 až 30 MHz. Vzdálenosti a konkrétní maximální hodnoty napětí či intenzity pole jsou dány kmitočtem, typem přístroje a prostředím, ve kterém bude využíván.

- CSN EN 55022 Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení zařízením informační techniky.
- CSN EN 55014 Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného zařízením s elektrickým pohonem, tepelným zařízením pro domácnost a podobné účely, elektrickým nářadím a podobnými elektrickými přístroji.
- CSN EN 55015 Meze a metody měření charakteristik rádiového rušení způsobeného elektrickými svítidly a podobným zařízením.
- CSN EN 55011 Meze a metody měření charakteristik elektromagnetického rušení od průmyslových, vědeckých a lékařských (PVL) zařízení

Měření a zkušební uspořádání – odolnost:

Požadavky odolnosti jsou definovány v normách řady 61000-4-X. Přehled zkoušek odolnosti

je přitom uveden hned v první normě 61000-4-1. Z dalších norem, které popisují jednotlivé zkoušky odolnosti podrobně, potom vyplynou požadavky na měřicí přípravky, kabeláž, speciální měřicí software, technickou dokumentaci a další položky, které musí návrhář nebo konstruktér testovaného zařízení dodat pro zdárný běh měření odolnosti.

- **CSN EN 61000-4-1 Přehled zkoušek odolnosti.** Norma poskytuje všeobecný návod a doporučení týkající se volby vhodné zkoušky a jejího použití, přičemž se bere v úvahu typ zkoušeného zařízení a jeho předpokládaného prostředí (místo použití, úroveň rušení, požadovaný stupeň odolnosti atd.).
- **CSN EN 61000-4-2 Elektrostatický výboj – zkouška odolnosti.** Účelem zkoušky je ověření odolnosti zařízení proti elektrostatickým výbojům (ESD), generovaným např. při dotyku zařízení s obsluhou nebo předmětem, při vzájemném dotyku osob a předmětu v

blízkosti zařízení. V závislosti na okolnostech může napětí dosáhnout až 15 kV. Používají se zkušební úrovně 2 až 15 kV s náběžnou hranou do 1 ns a dobou trvání 60 ns. Zkouška se vztahuje na všechna elektrická a elektronická zařízení.

- **CSN EN 61000-4-3 Vyzařované vysokofrekvenční elektromagnetické pole – zkouška odolnosti.** Účelem zkoušky je ověření odolnosti zařízení proti elektromag. polím generovaným rozhlasovými vysílači nebo jakýmkoliv jiným přístrojem vyzařujícím spojitě elektromagnetickou energii (ruční vysílačky, mobilní telefony...). Používají se zkušební úrovně 1 až 10 V/m v kmitočtovém pásmu 80 až 1000 MHz s 80% modulací sinusovou vlnou 1 kHz.
- **CSN EN 61000-4-4 Rychlé elektrické přechodové jevy/skupiny impulzů – zkouška odolnosti.** Účelem zkoušky je ověření odolnosti zařízení proti skupinám impulzů velmi krátkých přechodných jevů generovaných například spínáním malých indukčních zatížení a odskakováním kontaktu relé, spínáním vysokonapěťových vypínačů. Zkouška se provádí na napájecích přívodech a na přívodech ovládání a signálu ke zkoušenému zařízení. Používají se opakující se skupiny impulzů s náběžnou hranou 5 ns, dobou trvání 50 ns, opakovací frekvencí 5 nebo 2,5 kHz, dobou trvání skupiny 15 ms a periodou skupin 300 ms. Zkušební napětí 0,25 až 4 kV se přivádí na vstupy zařízení pomocí vazebního členu o kapacitě 50 až 200 pF.
- **CSN EN 61000-4-5 Rázový impulz – zkouška odolnosti.** Účelem zkoušky je ověření odolnosti zařízení proti jednosměrnému přechodovému jevu způsobenému spínacími jevy nebo poruchami v rozvodné síti, přímými nebo nepřímými úderu blesku. Zkouška se provádí napěťovým impulzem 0,5 až 4 kV s náběžnou hranou 1,2 μs a dobou trvání 50 μs nebo proudovým impulzem 0,25 až 2 kA s náběžnou hranou 8 μs a dobou trvání 20 μs. Jako vazební člen se používá kapacita 9 či 18 μF.
- **CSN EN 61000-4-6 Odolnost proti rušením šířeným vedením, indukovaným vysokofrekvenčními poli – zkouška odolnosti.** Účelem zkoušky je ověření odolnosti zařízení proti elektromagnetickým rušením šířeným vedením, jejichž zdrojem jsou úmyslné vysokofrekvenční vysílače v kmitočtovém rozsahu 9 kHz až 80 MHz. Měření se provádí napětím 1 až 10 V v rozsahu 150 kHz až 80 MHz s 80% modulací sinusovou vlnou 1 kHz. Rušivý signál je injektován do kabelu zařízení přímo přes rezistor 100 Ω.

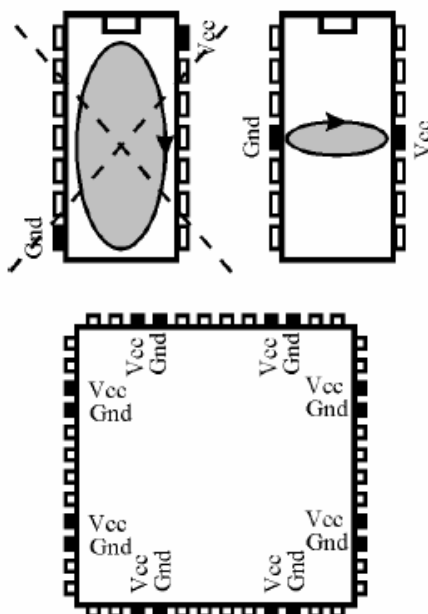
Uvádí-li fyzická či právnická osoba na trh elektronický výrobek, musí pro něj vystavit a uchovávat prohlášení o shodě s normami, nařízeními či nejnovějšími vědeckotechnickými poznatky, známými v době jeho uvedení na trh). Způsob posouzení shody a požadované formální náležitosti určuje pro daný typ zařízení vláda svými nařízeními. Prakticky to znamená, že tyto výrobky (i jejich plošné spoje) musí být odolné proti rušení a samy nesmí vyzařovat rušení nad přípustnou mez.

3.2 Součástky a EMC

Nově vyvíjené součástky nemají například napájecí vývody v úhlopříčce pouzdra, ale proti sobě, složitější součástky musí mít napájecích vývodu více, což je uvedeno na obr. 3.4. Z důvodu omezení vyzařování se používají oscilátory s co nejnižším kmitočtem a pomocí fázových závěsů se provede jeho vynásobení až na čipu mikroprocesoru. Mezi obecná pravidla výběru součástek z hlediska elektromagnetické kompatibility bude patřit:

- Výběr součástek s nízkými hodnotami impulzních proudů a s napájecími vývody umístěnými tak, aby umožňovaly návrh proudových smyček s co nejmenší plochou.

- Nepoužívat zbytečně rychlé obvody (náběžné a sestupné hrany).
- Maximální využití součástek SMD – menší rozměry a tedy i příznivější parazitní vlastnosti (parazitní indukčnost přívodu se oproti součástkám se standardními přívody sníží až o 50%).
- Bezpodmínečné propojení chladičů se společným vodičem (GND) u součástek s pracovním kmitočtem nad 75 MHz. Na chladič se kapacitní vazbou přenáší příslušné kmitočtové spektrum z čipu, které je v případě, že chladič není uzemněn, vyzařeno do prostoru jako elektromagnetické rušení.
- Volba vhodných blokovacích kondenzátorů, filtračních tlumivek, indukčností a ochranných prvků (bude popsáno dále).
- Výběr izolačních prvků (transformátorů, optronů, DC/DC měničů...) s co nejnižšími parazitními vazebními kapacitami a indukčnostmi.



Obr. 3.4: Konfigurace napájecích vodičů

3.3 Návrh plošných spojů z hlediska EMC

Návrh plošného spoje je z hlediska vyzařování a odolnosti třeba chápat jako komplexní činnost, která začíná již blokovém návrhu schématu každého zařízení.

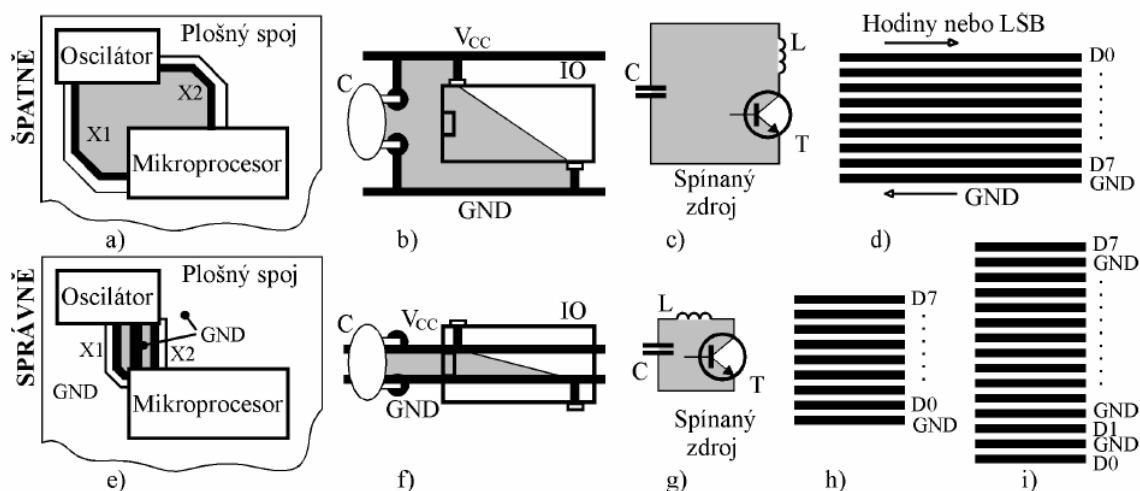
3.3.1 Základní pravidla

- 1) **Minimalizace hodnot proudu** = volba vhodných typu obvodu, výběr obvodu z hlediska vstupních impedancí, správné impedance vůbec.
- 2) **Minimalizace proudových smyček respektive délek spojů** = vhodné rozmístění součástek a vedení spojů, zemnění, rozlévaná měď, správná konfigurace napájecí vstupní i výstupní kabeláže, správné blokování napájení pomocí kondenzátorů.

Zároveň dodržení tohoto pravidla zvyšuje odolnost zařízení před elektromagnetickým rušením.

- 3) **Minimalizace kmitočtového spektra** = nepoužívat zbytečně rychlé obvody (náběžné a sestupné hrany), zbytečně rychlou datovou komunikaci.
- 4) **Filtrace a ochrany napájení a I/O svorek** = ochrana před ESD a přechodovými jevy, omezení vyzařování do vedení.
- 5) **Stínění** = potlačení vyzařování a zároveň zvýšení odolnosti.

Na obr. 3.5 vidíme, že konfigurace a) až d) mají společnou chybu a to je příliš velká plocha proudové smyčky. [5]



Obr. 3.5: Typické chyby na plošném spoji a jejich řešení

V prvním případě je nutné vést spoje X1 a X2 co nejbližěji u sebe, nebo mezi nimi umístit společný vodič (GND). V případě b) je lepší vést VCC a GND co nejbližěji u sebe pod integrovaným obvodem. V případě c) se snažíme součástky umístit co nejbližěji u sebe, aby plocha proudové smyčky byla co nejmenší. V obrázku d) je chyba v nevhodně navržené sběrnici. Vodič s nejrychlejšími změnami logických úrovní by měl bezprostředně sousedit se společným vodičem. Nejvhodnější způsob napravení chyby je proložení společných vodičů (GND) mezi každý signálový vodič, tím se nám o hodně zvýší počet vodičů. Na druhou stranu, ale taková konfigurace sníží úroveň vyzařování sběrnice až o 20 dB. Na vícevrstvěm plošném spoji je možné tuto situaci vyřešit také tím, že pod všemi signálovými vodiči bude v bezprostřední sousední vrstvě rozlitá měď, která bude připojena na obou koncích sběrnice ke společnému vodiči (GND).

Za rušivý zdroj můžeme považovat každý elektronický obvod, kterým protéká elektrický proud nebo je zdrojem elektrického napětí. Každý takový obvod potom více či méně vyzařuje rušivou energii, kterou může rušit jednak sám sebe, jednak bezprostřední či vzdálené okolí. Návrhář elektronického obvodu se snaží v co největší míře potlačit vytváření rušivého výkonu a dále pak zamezit jeho šíření. Při návrhu elektronického zařízení musíme dodržovat návrhová pravidla. Každý rušivý zdroj šíří rušivou energii dvěma způsoby:

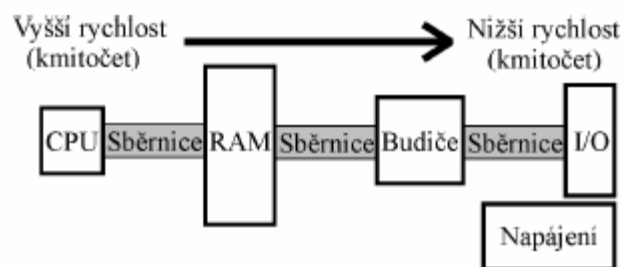
- po vedeních ve formě rušivých proudů a jimi vyvolaných rušivých napětí na impedancích sítě a zátěže
- vyzařování ve formě elektromagnetického pole.

Do vedení (napájení, rozvodné sítě, datová kabeláž...) se rušení dostává galvanickou, indukční nebo kapacitní vazbou. Vyzařování elektromagnetického pole budou způsobovat všechny proudové smyčky našeho obvodu včetně těch, které tvoří vstupně–výstupní a napájecí kabeláž.

3.3.2 Rozmístění součástek

Vhodné rozmístění součástek je základním předpokladem pro správnou funkci zařízení. Mezi základní principy rozmístění součástek patří především:

- Rozmístění součástek směrem od vyšší k nižší šířce pásma (obr. 3.6).
- Vzájemná fyzická separace jednotlivých funkčních bloku (analogový, číslicový, oscilátor, I/O obvody, napájení atd.).
- Minimalizace vzdáleností za účelem minimalizace proudových smyček.



Obr. 3.6: Rozmístění součástek.

3.3.3 Řazení vrstev plošného spoje

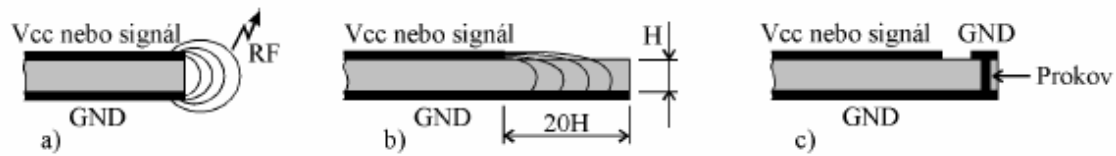
Počet vrstev je určen především hustotou součástek, počtem uzlů, systémem sběrnic, šumovou imunitou a systémem napájení, nutností vzájemné separace signálových spojů, impedancí. **Význam vrstev**, neboli přiřazení konkrétních signálových spojů a napájení do jednotlivých vrstev vyplývá z obecných vlastností těchto vrstev. Při návrhu vícevrstvých desek plošných spojů se používají tři druhy vrstev:

- Vnější signálové vrstvy (microstrip).
- Vnitřní signálové vrstvy sousedící s vodivými plochami (stripline).
- Vodivé plochy určené pro nízkoimpedanční rozvod napájení (plane)

Vrstvy typu „microstrip“ mají nižší parazitní kapacitu a tím i nižší přenosové zpoždění než vrstvy typu „stripline“. Díky stínění plochami mědi mají spoje typu „stripline“ vyšší odolnost vůči rušení a samozřejmě nezpůsobují vyzařování. Každý návrh je svým způsobem specifický a podle náročnosti obvodového zapojení, systému napájení a druhu signálu je nutné vymyslet správné řazení vrstev pro každý konkrétní případ zvlášť. Jiné řazení vrstev může mít deska, na které jsou pouze číslicové obvody s jedním napájením, a jiné deska, na které je kromě číslicové části také řízení třífázových motorů, analogová jednotka se symetrickým napájením a spínané zdroje.

Velmi důležitým pravidlem je takzvané pravidlo 20H, které říká, že na okrajích plošného spoje musí vodivá plocha GND přesahovat napájecí plochu nebo signálové spoje o

dvacetinásobek jejich vzájemné vzdálenosti (obr 3.7b). Důvodem je potlačení vyzařování do boku plošného spoje (až 70%). U dvoustranného plošného spoje, jehož tloušťka je 1,5 mm by ovšem tento přesah představoval 3 cm, což je příliš mnoho a tak se používá úpravy podle (obr. 3.7c), kde celý plošný spoj se obemkne zhruba 1 mm širokým prstencem, pravidelně propojovaným pomocí prokovu do vrstvy GND.



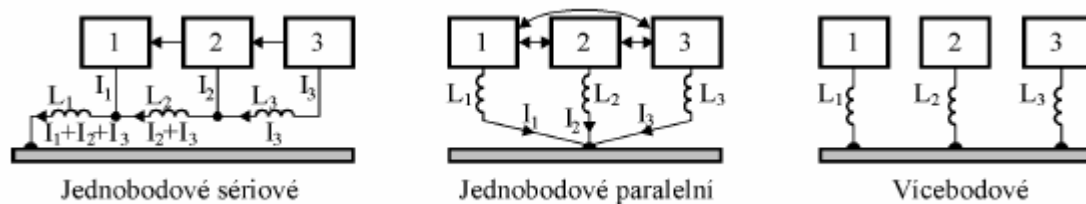
Obr. 3.7: Pravidlo 20H

3.3.4 Zemnění

Rozlišujeme dva druhy zemnění – **jednobodové** a **vícebodové**, přičemž u jednobodového ještě rozlišujeme **sériové** a **paralelní** zapojení (obr 3.8). Pod bloky označenými číslicemi 1, 2 a 3 si můžeme představit jednotlivé součástky, integrované obvody nebo ucelené funkční bloky.

Jednobodové zemnění

Jednobodové zemnění je vhodné především pro propojování obvodů se součástkami, jejichž kmitočtové spektrum nepřesahuje 1 MHz a neprojevuje se tak příliš významně parazitní indukčnost vodičů. Je tedy vhodné pro audio aplikace, napájecí zdroje pracující se sítovým kmitočtem, stejnosměrné aplikace atd. Pro výběr mezi sériovým a paralelním zapojením musíme dobře znát princip funkce celého obvodu včetně toku jednotlivých významných proudů obvodem.



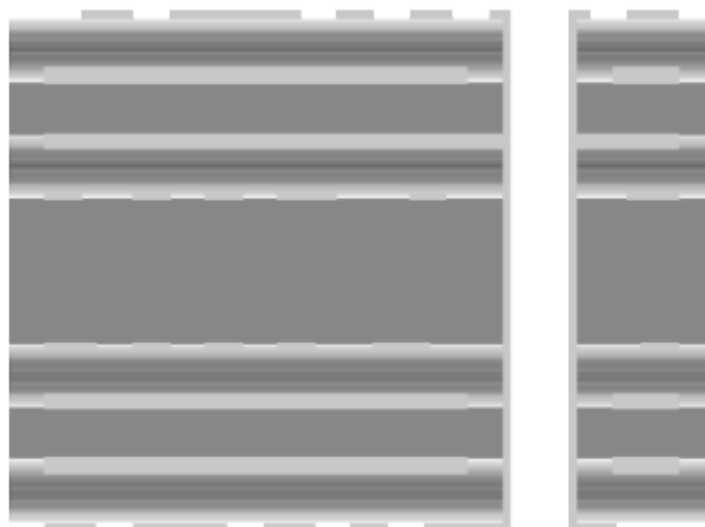
Obr. 3.8: Způsob zemnění

Vícebodové zemnění

Vícebodové zemnění je vhodné pro vysokofrekvenční a tedy i číslicové obvody. Princip spočívá v tom, že každá součástka je co nejkratším příívodem propojena na nízkoimpedanční vodivou plochu – například rozlévanou měď v samostatné vrstvě plošného spoje (GND).

3.3.5 Aspect Ratio

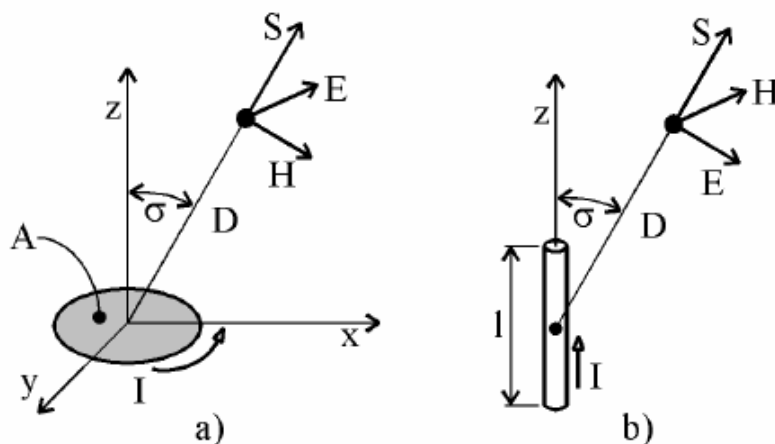
Parametr Aspect Ratio prokovu: je to poměr tloušťky desky a průměru prokovu. Umožňuje (dovoluje) posouzení náročnosti výroby. Čím větší je jeho hodnota, tím je složitější realizace. Maximální hodnota AR je 8.



Obr. 3.9: *Aspect Ratio*

3.3.6 Elektromagnetické pole vyzařované proudovou smyčkou

Elektromagnetické pole je charakterizováno svojí elektrickou a magnetickou složkou E a H . Složky pole jsou na sebe kolmé a jejich vektorový součin $S=E \times H$ je Poytingův vektor, jehož směr odpovídá směru šíření pole. Pro představu uvádím obrázek.



Obr. 3.10: *Vyzařování proudové smyčky a dipólu*

Iproud smyčkou [A]

Aplocha smyčky [m^2]

σvlnová délka [m]

Dvzdálenost vyšetřovaného bodu od proudové smyčky

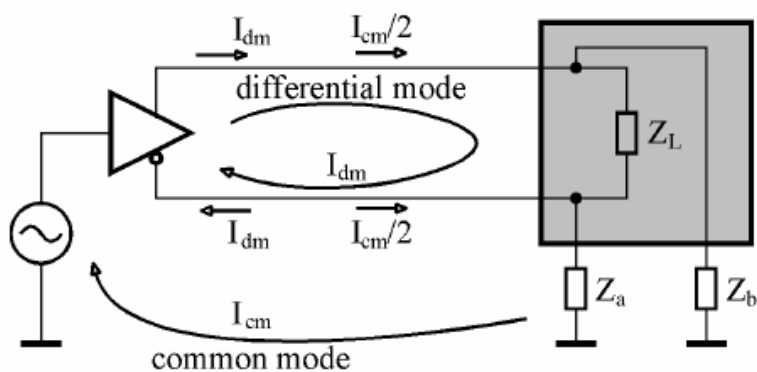
Zvlnová impedance prostředí

ldélka vodiče (dipólu) [m]

Pro elektromagnetické pole, vytvořené proudovou smyčkou o ploše A (obr. 3.10a), platí jiné vztahy než v oblasti blízkého pole i vzdáleného pole. Na obr. 3.10b vidíme elektrické a magnetické pole vytvořené prímým vodičem.

3.3.7 Souhlasné a nesouhlasné rušení

Odlišnost souhlasného rušení (common mode) a nesouhlasného rušení (differential mode) je nejlépe patrná za obr. 3.11. Proudová smyčka nesouhlasné složky rušení je uzavřena přes vodiče, vedoucí od zdroje k zátěži, souhlasná složka rušení má proudovou smyčku uzavřenou přes parazitní vazební impedance (zpravidla kapacity) Z_a , Z_b a společný vodič (zem).



Obr. 3.11: Souhlasné a nesouhlasné rušení

4 Součástky zvyšující spolehlivost DPS

Při konstrukci elektronických zařízení se obvykle věnuje hlavní pozornost zapojení, volbě a návrhu vhodných obvodů, vnitřnímu uspořádání prvků uvnitř zařízení a zapomíná se přitom na jednu z podmiňujících podmínek pro správnou funkci zařízení (výběr vhodných součástek pro konstruované zařízení). Jedním ze základních požadavků na vlastnost stavebních prvků pro elektroniku jsou stabilita jejich elektrických vlastností, mechanická pevnost a provozní spolehlivost. Splnění těchto požadavků však může zajistit pouze vhodně, pro daný způsob provozu a dané zařízení, vybraný prvek. V následujících kapitolách se budu zabývat různými součástkami [6].

4.1 Blokovací kondenzátory

Filtrační – slouží jako širokopásmový filtr pro napájení celé desky nebo její části, eliminuje vliv indukčností přívodů od napájecího zdroje, kontaktních přechodových odporů napájecích konektorů.

Lokální – slouží jako lokální zdroje energie pro součástky a redukuje impulsní proudy, které by jinak protékaly celou deskou.

Skupinové – slouží jako zdroj energie pro současné nabíjení několika kapacitních zátěží.

Návrh lokálního blokovacího kondenzátoru:

$$C = \frac{I}{\frac{\Delta U}{\Delta t}}$$

I..... impulsní spotřeba obvodu
 ΔU změna napětí, kterou připustíme po dobu proudového impulsu (max20% šumové imunity obvodů)
 Δtdoba trvání proudového impulsu

Návrh skupinového blokovacího kondenzátoru :

$$C = \frac{I}{\frac{\Delta U}{\Delta t}} \quad I = C_L \frac{\Delta U_{CL}}{\Delta t}$$

C_L celková zatěžovací kapacita, která se sestává jednak ze vstupních kapacit řízených obvodů a jednak z parazitní kapacity celého plošného spoje,

ΔU_{CL} napětový rozkmit na kapacitní zátěži CL (zpravidla U_{cc}),

Δtdoba překlápění (náběžná nebo sestupná hrana).

Návrh filtračního kondenzátoru:

$$C \geq 10 \frac{L}{Z^2} \quad Z = \frac{\Delta U_{cc}}{\Delta I_{cc}}$$

L parazitní indukčnost přívodů napájení (10nH/cm),

Z impedance napájecího systému,

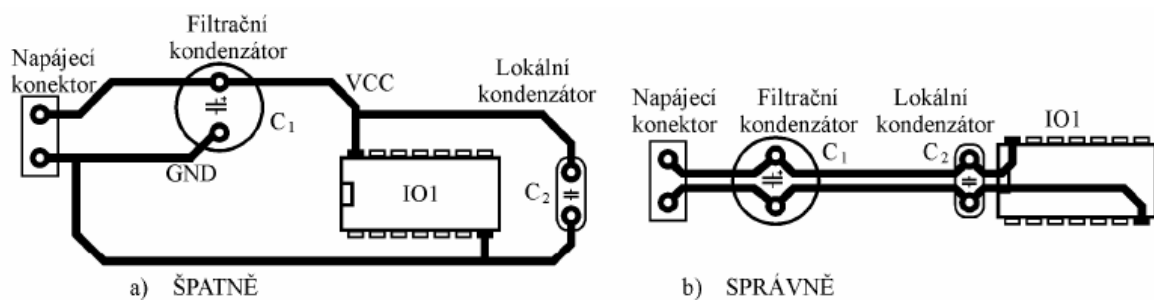
ΔU_{cc} přípustné zvlnění napájení,

ΔI_{cc} impulsní spotřeba obvodů.

Pro všechny typy blokovacích kondenzátorů platí srovnatelná pravidla pro jejich správné umístění a s tím související vedení spojů [3]:

- Kondenzátor musí být umístěn vždy na cestě mezi zdrojem a spotřebičem.
- Veškeré spoje musí být navrženy tak, aby plocha proudových smyček byla co nejmenší.
- Minimalizace impedancí spojů (především parazitních indukčností) = co nejkratší spoje, použití vodivých ploch.
- Proudové smyčky zdroj – kondenzátor a kondenzátor – spotřebič by měly mít minimální společnou spojovou dráhu.

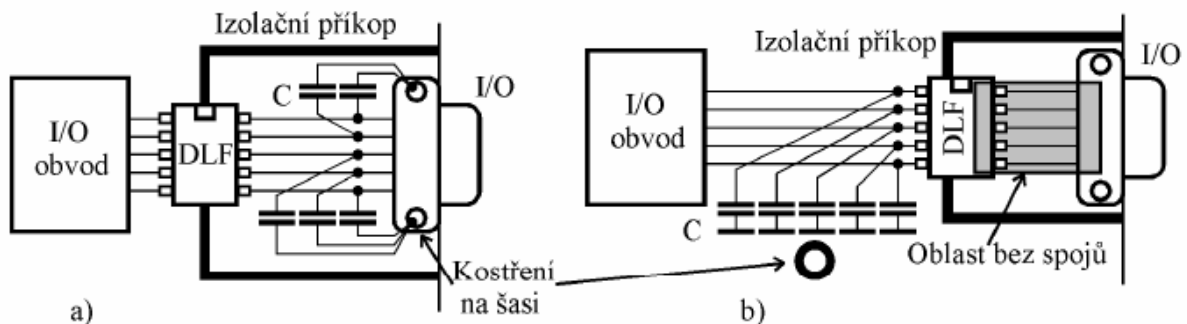
Na obr. 4.1a jsou vidět nejfrekventovanější chyby při návrhu blokování. Především je zde chybně umístěný lokální kondenzátor C_2 , všechny plochy proudových smyček jsou extrémně velké a spoj GND má chybně vedený spoj mezi C_1 a $IO1$.



Obr. 4.1: Nejčastější chyby při návrhu blokování

4.2 Filtrace vstupu a výstupu na plošném spoji

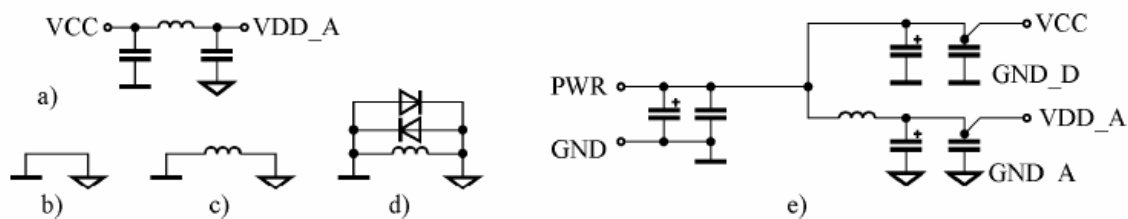
Na obr. 4.2 je znázorněna technika filtrace vstupu a výstupu. V části a) jsou kondenzátory C připojeny bezprostředně u I/O konektoru a představují tak spolu s tlumivkami DLF (Data Line Filter) výborný filtr, potlačující vyzařování vysokofrekvenčního rušení z plošného spoje. Hodnota kapacity kondenzátoru se pohybuje v řádu 100pF až 1nF. [2] Nevýhoda tohoto zapojení spočívá v tom, že je nutné tyto kondenzátory pro případ elektrostatických výbojů (ESD) dimenzovat na vysoké napětí. Tuto nevýhodu odstraňuje varianta b). Bezprostředně u I/O konektoru se nachází soustava tlumivek DLF , která přemostňuje izolační příkop a bezprostředně následují filtrační kondenzátory. Společný vodič kondenzátorů by měl být



Obr. 4.2: I/O filtrace

připojen přímo do vodivé plochy GND, která by zároveň měla být v bezprostřední blízkosti ukotvena na šasi přístroje. Jelikož vnější rušení a ESD je filtrováno až LC filtrem, je nutné v místě spojů mezi I/O konektorem a DLF zajistit co největší vazební impedanci vůči jiným spojům plošného spoje, což se nejlépe zajistí tak, že v dané oblasti nebudou existovat v žádné vrstvě žádné spoje. V obou variantách je použita technika isolačního příkopu, která znamená, že v daném místě neexistuje v žádné vrstvě plošného spoje žádný vodič ani vodivá plocha.

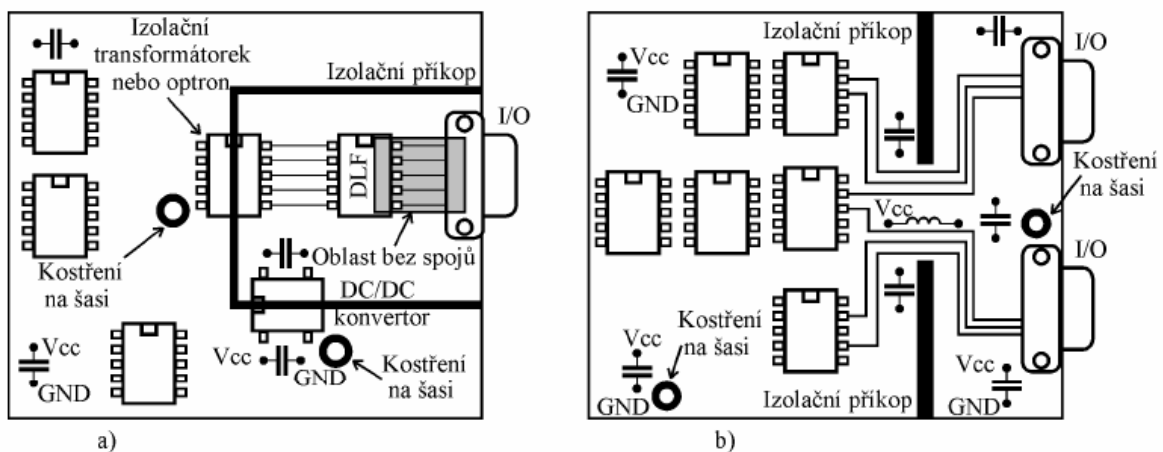
Na obr. 4.3 jsou vyobrazeny některé možnosti filtrace a propojení. Zapojení a) znázorňuje nejpoužívanější princip filtrace napájení. Někdy (např. u 8-bitových převodníků) se tlumivka nahrazuje rezistorem. Části b), c) a d) znázorňují způsoby propojení číslicové a analogové země. Příklad b) se používá tehdy, mají-li být obě země galvanicky propojeny. Není-li potřeba galvanického propojení zemí, používá se mezi analogovou a digitální zemí filtrační tlumivka c). V případě, že rozdíl mezi potenciály analogové a číslicové země nesmí překročit určitou mez, přemostí se tato tlumivka například antiparalelním zapojením dvou diod d). Příklad e) potom znázorňuje příklad doporučeného zapojení filtrace napájení. Výstupní napětí VDD_A i VCC je nutné odebírat z místa, které se nachází co nejbližže svorkám kondenzátoru.



Obr. 4.3: Příklady propojení společného vodiče (země) a napájení u A/D převodníku.

4.3 Galvanické oddělení a přemostění

Galvanické oddělení vstupu a výstupu pomocí transformátorku nebo optronu od ostatních částí elektronického obvodu představuje nejúčinnější ochranu navrhovaného zařízení. Technické provedení na plošném spoji je znázorněno na obr. 4.4a. I/O konektor je spolu s filtrem umístěn v oblasti, která je od ostatní části oddělená isolačním příkopem. Propojení signálu je provedeno pomocí transformátorku nebo optronu. Je-li zapotřebí do izolované části



Obr. 4.4: a) galvanické oddělení, b) přemostění.

přivést napájecí napětí, je vhodné použít DC/DC konvertor. Tímto způsobem je zaručena velmi nízká parazitní kapacita mezi I/O částí a zbytkem obvodu. Přesto je vhodné v místě optonu a DC/DC konvertoru umístit kontaktní místo pro propojení na kostru přístroje [1]. Rušení, které tak projde díky nenulové vazební kapacitě těchto součástek, bude svedeno na kostru přístroje.

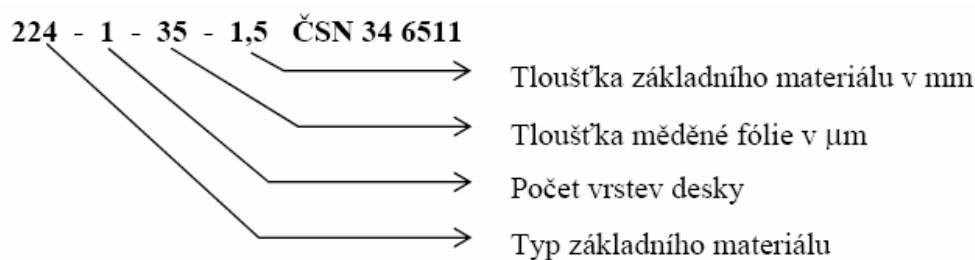
Přemostění se používá tam, kde z libovolných důvodů není možné použít galvanické oddělení signálu nebo napájení. Jedná se vlastně o propojení I/O země a země zbytku systému (GND) přemostěním izolačního příkopu ve vhodném místě. Pouze nad tímto místem potom mohou procházet signálové spoje a napájení. Napájení je navíc vhodné oddělit tlumivkou. Pod pojmem izolační příkop se opět rozumí absence vodičů ve všech vrstvách plošného spoje, tedy i ve vrstvě GND a Vcc. Tímto zapojením se samozřejmě nevylučuje použití filtrace signálových spojů v oblasti u I/O konektoru.

5 Tvorba technické dokumentace

Tvorba dokumentace pro plošné spoje se řídí konstrukčními směrnici. Tyto určují jednotlivé potřebné dokumenty a jejich provedení tak, aby bylo možné jednoznačně definovat výslednou desku s plošnými spoji. Tyto konstrukční směrnice se staly základem pro mezinárodní normy (např. IEC 326 Desky s plošnými spoji), která má dvanáct částí a postupně se přejímá do národní soustavy jako norma ČSN IEC 326 (35 9020).

Plošné propojení je propojení mezi součástkami elektrického nebo elektronického zařízení realizované tenkými plošnými vodiči umístěnými uvnitř (u vícevrstvých desek) nebo připevněnými k povrchu (u jednostranných nebo oboustranných desek) základního materiálu. Základní materiál je mědí plátovaná nebo holá izolační podložka, na které se vytvoří vodivý obrazec [4]:

- Odstraněním nežádoucích částí měděné fólie,
- Nanášením vodivého materiálu na základní neplátovaný materiál.



Obr. 5.1: Základní materiál na výkrese předepsaný kódem

Provedení desek plošných spojů je rozděleno do šesti konstrukčních tříd charakterizovaných hustotou plošných prvků. Rozdělení uvádím v kapitole Třídy přesnosti.

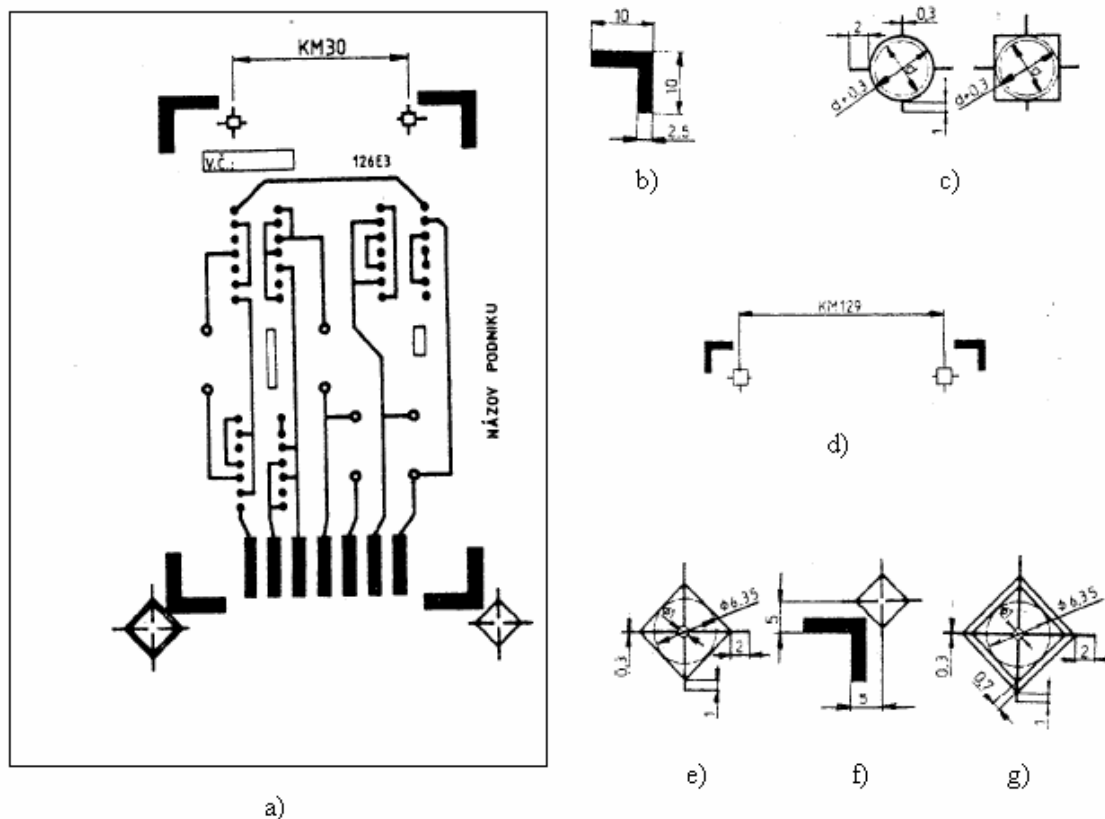
5.1 Požadavky na provedení a kvalitu matric a předloh

V rámci zpracování grafické dokumentace se zhotovují tzv. předlohy (obr. 5.2a) či matrice. Předlohy kresby vodivých obrazců se zhotovují pouze pro I. až III. konstrukční třídu. Pro konstrukční třídy IV až VI musí být zhotoveny přímo výchozí matrice na průhledné polyesterové podložce. Polohová přesnost kresby je určena pro jednotlivé konstrukční třídy.

Z technických důvodů (kontrola přesnosti, technologie zpracování spoje apod.) se na dokumentaci pro plošné spoje vykreslují speciální značky, body a kóty:

- **rohové značky** (obr. 5.2b) – vyznačují obrys výsledné desky na matrici nebo předloze
- **kontrolní body** (obr. 5.2c) – slouží pro kontrolu při přejímání dokumentace u výrobce desek, případně k technologickým účelům výroby desek. Středy kontrolních bodů se umísťují zpravidla do průsečíků základní sítě. Umístění kontrolních bodů musí být shodné pro všechny matrice nebo předlohy desky jednoho typu;
- **kontrolní míra** (obr. 5.2d) – kótuje se mimo obrys výsledné desky a je to vzdálenost kontrolních bodů;

- **zakládací body** (obr. 5.2e) – slouží k přenášení obrazce na polotovar desky. Umístění a počet těchto bodů vzhledem k obrysům výsledné desky určí výrobce DPS, umístění zakládacího bodu k rohové značce je vyznačeno na obr. 5.2f;
- **výchozí bod** (obr. 5.2g) – určuje počátek soustavy souřadnic, z níž se určují souřadnice středů otvorů, výchozí bod se nikdy nevrtá.



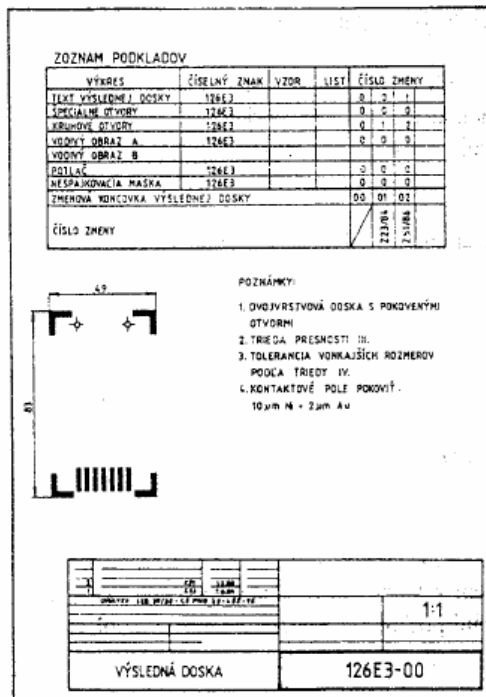
Obr. 5.2: Předloha, speciální značky, body a kóty

5.2 Výkresová dokumentace k plošným spojům

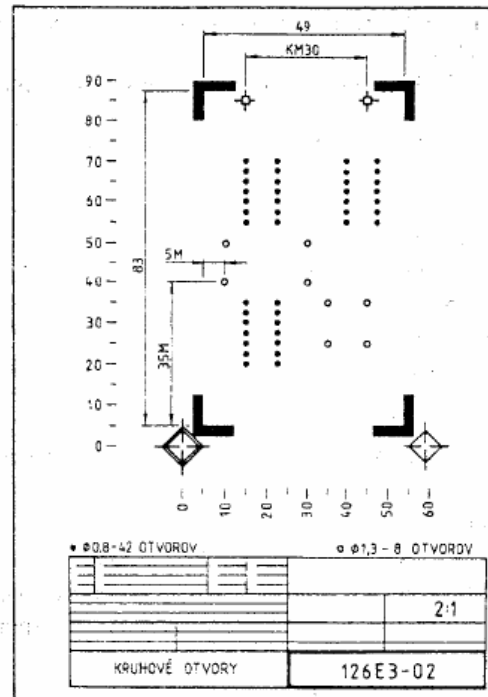
Pro technologickou přípravu i pro výrobu se zpracovávají následující základní dokumenty:

- **Výkres výsledné desky** (obr. 5.3a) – obsahuje vyznačení obrysu desky, kóty vnějších rozměrů a tvaru (zářezy apod.), vyznačení kontrolních bodů. Určení základního materiálu, třídy přesnosti desky a druhu tloušťku povrchové úpravy, případně úpravu pájecím lakem a seznam veškerých výrobních výkresů potřebných na zhotovení desky tzv. seznam podkladů;
- **Tabulka kruhových otvorů** – obsahuje data pro souřadnicovou vrtačku, tj. souřadnice středů otvorů s uvedením jejich průměrů;
- **Výkres kruhových otvorů** (obr. 5.3b) – udává polohu všech kruhových otvorů do určitého průměru podle požadavků výrobce desek. Rozlišení průměrů je provedeno značkami a výkres zároveň udává počet otvorů podle průměrů;
- **Výkres vodivých obrazců** (obr. 5.3c) – obsahuje kresbu vodivého obrazce, značky pro kontrolní body, kótu kontrolní míry, orientační vyznačení speciálních otvorů a označení desky;

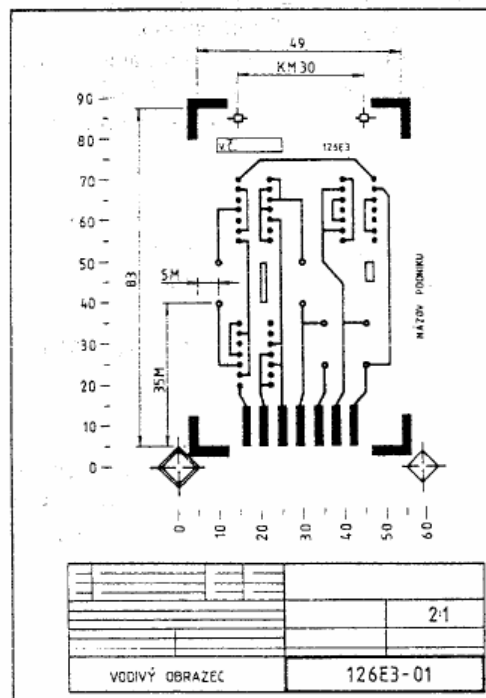
- **Výkres potisku** – znázorňuje stylizovanou kresbu rozložení součástek na sestavené desce, která napomáhá při montáži. Dále obsahuje kontrolní míru a legendu pro rozlišení ploch pokrytých a nepokrytých barvou;
- **Výkres nepájivé masky** – obrazec krytý barvou, která brání nanesení pájky na měď vodivého obrazce při pájení vlnou.



a)



b)



c)

Obr. 5.3: a) Výkres výsledné desky, b) výkres kruhových otvorů, c) výkres vodivých obrazců

Pro DPS určené k povrchové montáži jsou zapotřebí ještě další dokumenty podle zvolené technologie:

- **Výkres masky pro nanášení pájecí pasty** – obsahuje obrysy plošek, na které bude nanесena pájecí pasta, kontrolní míru a označení matrice (A, B, C, atd.);
- **Výkres masky pro nanášení lepidla** – obsahuje znázornění masky pro nanášení lepidla pro uchycení součástek.

Pro sestavení desky tzn. pro montáž, kontrolu a měření jsou obvykle nutné následující dokumenty:

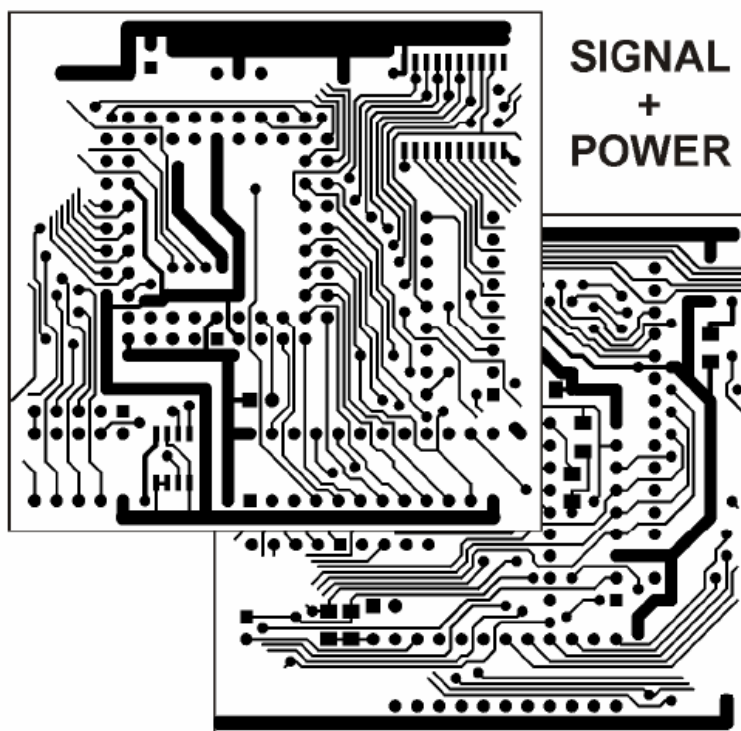
- Výkres rozložení elektrických součástek,
- Seznam spojů,
- Výkres testovacích bodů,
- Data pro osazovací automat.

6 Porovnání metod návrhu DSP

Součástí vývoje elektronického zařízení je posouzení shody jeho vlastností s příslušnými technickými předpisy. Mimo jiné je nutné provést měření vyzařování rušivého elektromagnetického pole ve stíněné komoře. Porovnejme nyní tři způsoby návrhu DPS jinak funkčně a obvodově totožných elektronických zařízení právě z hlediska vyzařování [8].

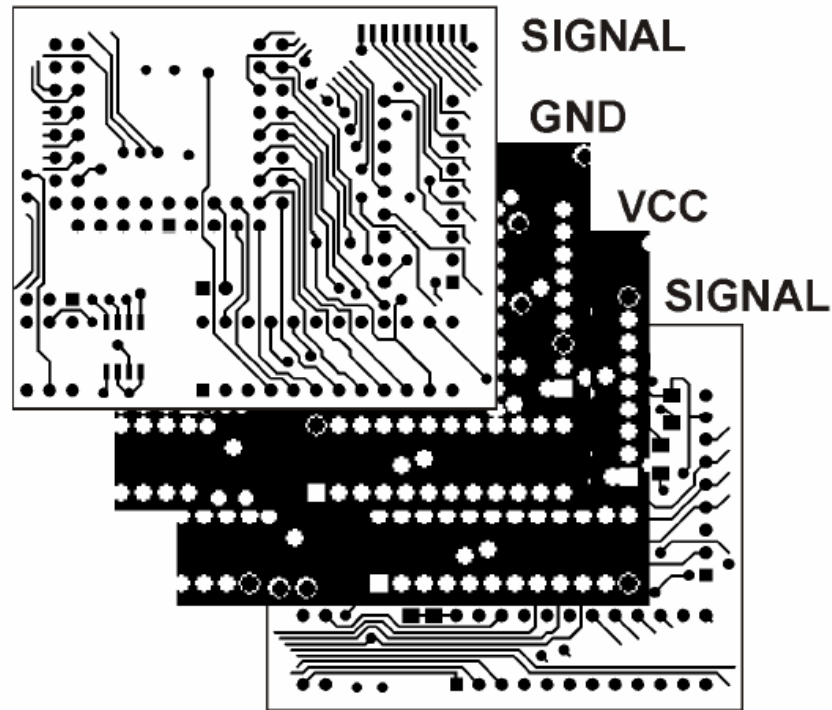
1. **Nekvalifikovaný návrh na 2 – stranné DPS** = nejsou dodržena základní pravidla pro návrh v souladu se základními pravidly pro EMC (obr. 6.1). Desku navrhoval nekvalifikovaný pracovník nebo byl použit běžný autorouter.
2. **Nekvalifikovaný návrh + vnitřní plochy (4 – vrstvá DPS)** = do nekvalifikovaného layoutu z předchozí DPS byly přidány navíc vnitřní vrstvy pro napájení (GND a VCC) (obr. 6.2).
3. **Kvalifikovaný návrh na 2 – stranné DPS** = použita základní pravidla pro návrh v souladu se základními pravidly pro EMC (obr. 6.3). Desku navrhoval kvalifikovaný pracovník.

Nekvalifikovaný dvoustranný návrh z obr. 6.1 je z hlediska maximálního přípustného vyzařování nevyhovující pro obytné i pro průmyslové prostředí. Takové zařízení není možné uvést na trh. Návrh jeho DPS je nutné opravit. Jednou z možností je layout nekvalifikovaného návrhu ponechat a doplnit jej dalšími vrstvami pouze pro napájení (VCC a GND). Tyto vrstvy (plochy) sníží impedanci napájení a významně minimalizují plochy proudových smyček signálových spojů. Výsledkem bude snížení vyzařování až o 25dB (obr. 6.2). Takto opravené zařízení je možné uvést na trh, ovšem za cenu zhruba dvojnásobných nákladů na výrobu DPS, což není vhodné pro sériovou výrobu. Druhou možností je od základu přepracovat layout

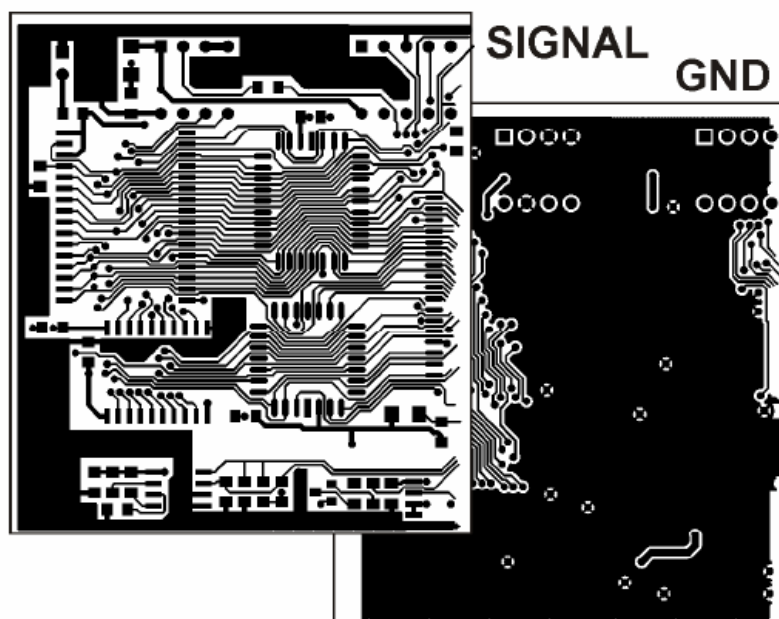


Obr. 6.1: Nekvalifikovaný návrh na 2 - stranné DPS

dvoustranné desky tak, aby pokud možno z jedné strany byla rozlita měděná plocha GND a aby cesty signálových spojů byly navrženy s maximální pečlivostí v souladu s pravidly pro EMC. Výsledkem bude snížené vyzařování až o 20dB (obr. 6.3). Zařízení je opět možné uvést na trh. Nevýhodou jsou ovšem vysoké časové a finanční nároky na vývoj (návrh DPS), což není vhodné pro malosériovou výrobu.



Obr. 6.2: Nekvalifikovaný návrh + vnitřní plochy (4 - vrstvá DPS)



Obr. 6.3: Kvalifikovaný návrh na 2 - stranné DPS

7 Technologie výroby plošných spojů

V současné době se používají tři druhy výrobních postupů:

- subtraktivní,
- aditivní,
- semiaditivní.

Subtraktivní postup spočívá v odstraňování přebytečné mědi (leptání), **aditivní** postup znamená nanášení vodivých cest a **semiaditivní** postup je kombinací obou předchozích metod.

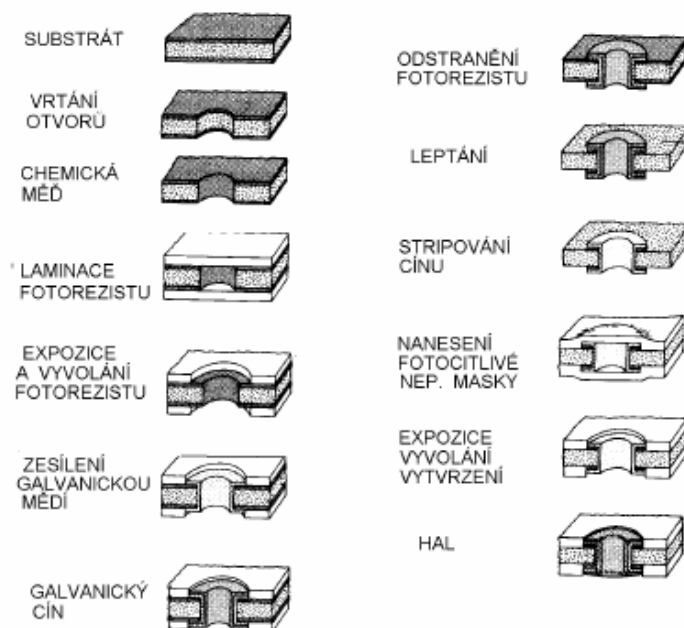
7.1 Výroba dvouvrstvých DPS

7.1.1 Subtraktivní technologie

Subtraktivní technologií je možno vyrábět všechny druhy DPS. Existuje mnoho modifikací lišících se způsobem zesílení vodivých motivů i druhem lepuodolnému rezistu (organický, resp. anorganický).

Hlavní typy subtraktivních postupů:

- **Pattern plating** – materiál plátovaný měděnou folií, vodivé cesty a otvory jsou alvanicky zesíleny mědí, poté pokoveny cínem eventuálně Sn/Pb rezistem. Po odstranění fotorezistu je odhalena měď leptána. Jako lepu odolná vrstva slouží cín, Sn/Pb, zlato aj. Je označována za nejrozšířenější technologii.



Obr. 7.1: Příklad technologického postupu pattern plating

Fotorezist – je fotocitlivý materiál, který působením UV záření definované vlnové délky změní své vlastnosti. Fotorezist negativní zpolymeruje a pozitivní polymerní.

Chemická měď – vrstva mědi vyloučená z lázně obsahující mědnaté ionty na elektroizolační jádro bez působení elektrického proudu.

Galvanická měď – vrstva mědi vyloučená z lázně obsahující mědnaté ionty na vodivý základ působením elektrického proudu.

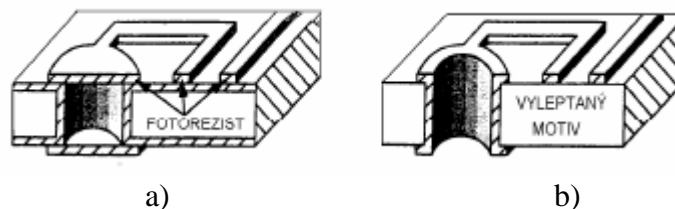
Stripování cínu – odleptání cínu.

Nepájivá maska – izolační vrstva zpravidla zelené barvy.

HAL – metoda žárového nanesení pájky definované tloušťky na měděný podklad.

- **Pattern plating s diferenčním leptáním** – plátovaný materiál s tloušťkou 5 μ m, vodivé cesty a otvory jsou zesíleny galvanickou mědí. Po odstranění fotorezistu je provedeno leptání.

- **Panel plating, tenting** – Plátovaný materiál včetně otvorů je chemicky a galvanicky pokoven mědí. Galvanické zesílení mědi se provede po celém povrchu. Po nanesení /expozici/ vyvolání tuhého fotorezistu zůstanou otvory a vodivé cesty maskovány fotorezistem, který slouží jako leptuodolná vrstva.



Obr. 7.2: a) DPS po vyvolání fotorezistu b) DPS po leptání a stripování fotorezistu

7.1.2 Aditivní technologie

Při tomto postupu je obrazec plošného spoje vytvořen jen chemickou mědí bez procesu leptání. Používá se jak tvrzený papír tak i sklolaminát, speciální materiál je impregnované palladium nebo CuO/Cu₂O. Ke zvodivění požadovaného propojovacího motivu, pájecích plošek, otvorů aj. dojde působením redukčního činidla. Negativ požadovaného motivu vytvoříme technikou sítotisku nebo fotoprocsem.

Mezi výhody patří:


- Nižší výrobní náklady, menší počet výrobních operací, 50% ceny základního materiálu, 25% úspora nákladů.
- Ekologický přínos – úspory Polachových vod, rozpouštědel, úspory z recyklace základních materiálů.
- Nedochází k podleptání spojů, to umožňuje výrobu náročnějších motivů.
- Zvýšení spolehlivosti snížením pnutí v pokovených otvorech.

Nevýhody:

- Nedořešené materiálové i technologické otázky
- Proces i přes nesporné výhody je dosud málo rozšířen

7.1.3 Semiaditivní technologie

Touto metodou je možné vyrábět jednostranné, dvoustranné i vícevrstvé desky plošných spojů. Základní postup si ukážeme na dvoustranné desce s prokovenými otvory, nepájivou maskou a servisním potiskem. Prvním krokem je zadání výroby. Spočívá v dodání výrobních podkladů (takzvaných technologických dat) a vyplnění objednávkového listu. Objednávkový list by měl obsahovat přesnou specifikaci všech důležitých parametrů výsledného plošného spoje. Ukázka objednávkového listu je na obr. 7.3. Před vlastní výrobou provede výrobce nejdříve technologický rozbor zakázky a upraví technologická data. Mezi základní operace v této fázi patří kontrola, případně umístění soutiskových křížů, úprava ostříhových značek, umístění testovacích obrazců a vytvoření galvanické protiváhy, což je zhruba 2 cm široký prstenec okolo celé desky plošného spoje. Tento prstenec napomáhá homogenizaci proudových toků při galvanických operacích. Pro výše uvedenou úpravu dat používá výrobce speciální software, určený pro předvýrobní zpracování zákaznických dat. Následuje vykreslení filmových matic, případně vytvoření výrobních kopií. Filmové matrice se vykreslují na fotoplotru. Jedná se o zařízení, které pomocí laseru vykreslí požadovaný motiv na fotocitlivou fólii, která se vyznačuje vysokou rozměrovou stálostí (0,1 až 0,3 mm na 1 metr

Areál Běchovice 190 11 PRAHA 9		Prago Board s.r.o.		Tel 02/6277642 Fax 02/6271254	
Jméno zákazníka		název DPS		zakázka č.	
Rozměr DPS x mm				Rozměr panelu x mm	
Počet kusů ks				Počet kusů v panelu ks	
Materiál		<input type="radio"/> FR4 UMATEX <input type="radio"/> FR4 ISOLA <input type="radio"/>			
Tl. materiálu		<input type="radio"/> 1,0 <input type="radio"/> 1,2 <input type="radio"/> 1,5 <input type="radio"/> mm			
Tl. mědi		<input type="radio"/> 18/18 <input type="radio"/> 35/35 <input type="radio"/> 70/70 <input type="radio"/> μm			
Povrch		<input type="radio"/> cín <input type="radio"/> měď+HAL <input type="radio"/> cín+HAL <input type="radio"/> měď+lak			
Maska		<input type="radio"/> sitotisk - fotocitlivá <input type="radio"/> sitotisk - barva			
Potisk		<input type="radio"/> strana součástek <input type="radio"/> strana spojů			
Barva potisku		<input type="radio"/> bílá <input type="radio"/> žlutá <input type="radio"/> černá <input type="radio"/>			
Vrtání		<input type="radio"/> průměry vrtáků <input type="radio"/> konečné průměry otvorů			
T1 T2 T3 T4 T5 T6 T7 T8 T9					
Opracování		<input type="radio"/> stříhání <input type="radio"/> frézování <input type="radio"/> drážkování <input type="radio"/> srážení hran			
Doplňkové technologie		<input type="radio"/> galv. zlacení <input type="radio"/> chem. zlacení <input type="radio"/>			
Předané podklady		<input checked="" type="radio"/> filmy <input type="radio"/> TOP <input type="radio"/> BOT <input type="radio"/> SMT <input type="radio"/> SMB <input type="radio"/> SST <input type="radio"/> SSB			
		<input type="radio"/> data <input type="radio"/> TOP <input type="radio"/> BOT <input type="radio"/> SMT <input type="radio"/> SMB <input type="radio"/> SST <input type="radio"/> SSB <input type="radio"/> DRL			
Převzetí		<input type="radio"/> poštou <input type="radio"/> TEN-Ex. <input type="radio"/> osobně <input type="radio"/>			
Vrácení podkladů		<input type="radio"/> vrátit <input type="radio"/> uložit u výrobce			
Datum objednání		Datum dokončení zakázky			
Tel. spojení		Podpis zákazníka			

Obr. 7.3: Objednávkový list výroby plošných spojů

délky při změně teploty o 25 K). Tloušťka filmu je 7 milu (0,18 mm). Motiv je vykreslován s přesností 1–10 μm. Výrobní kopie se potom vytvářejí z matric osvitem na fotocitlivý materiál (diazokopie). V tomto okamžiku je vše připraveno k započetí přímých prací na výrobě plošného spoje.

Celý postup výroby je znázorněn na obr. 7.4, který zachycuje nejdůležitější výrobní kroky plošného spoje. Na řezu uvidíme, jak se postupně vytváří pájecí ploška, prokov a spoj. Prvním krokem je formátování základního materiálu. Základní materiál pro semiaditivní postup je nosná deska, plátovaná z obou stran vodivou fólií mědi. Formátování spočívá v nastřížení plátované desky na určitý rozměr, vyvrtání montážních otvorů pro uchycení desky při některých výrobních operacích a obroušení hran po ostříhu.

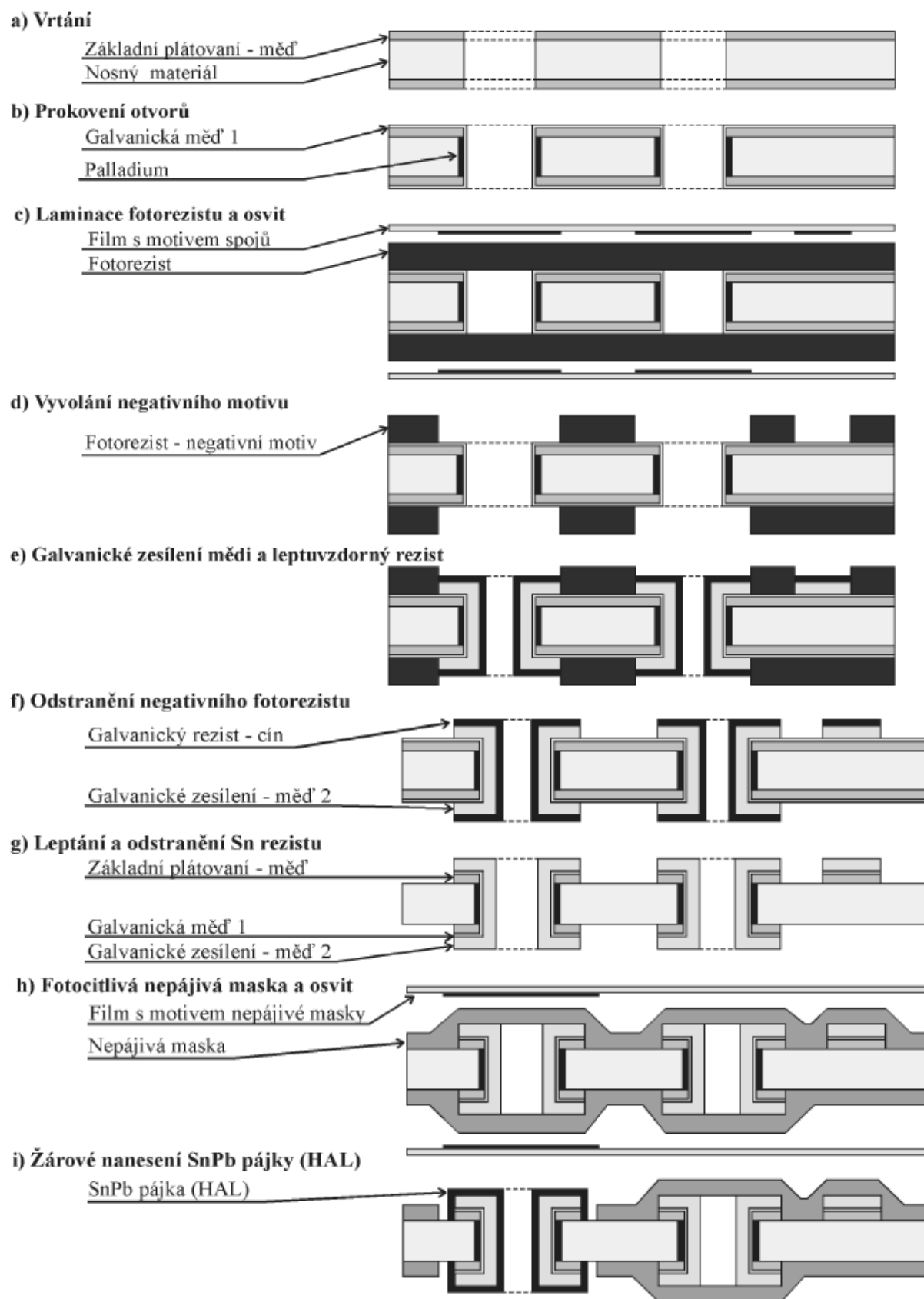
Nosná deska – může být vytvořena z tvrzeného papíru, teflonu, kaptonu, polyimidu, Invarna hliníkové desce atd. Mezi nejrozšířenější materiály ovšem patří skelný laminát plněný epoxidovou pryskyřicí. Tento materiál se označuje FR4.

Měděná fólie – může mít tloušťku 18, 35, 70 případně 105 μm. Standardně se používá elektrolyticky vyloučená měděná fólie o čistotě 99,8% o tloušťce 18 μm. Na nosnou desku se plátuje vysokým tlakem a teplotou.

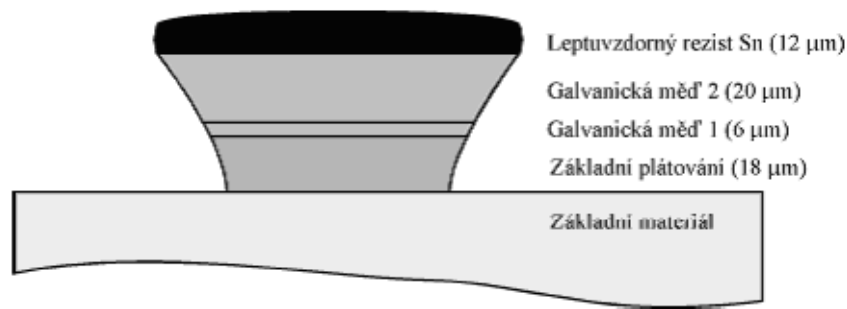
Po formátování nastupuje vrtání na souřadnicové vrtačce, vyčištění otvoru a odstranění otřepů po vrtání (obr. 7.4a). Deska plošného spoje se obloží zespodu 2 mm tlustou dřevěnou podložkou a shora 0,2 mm hliníkovou fólií. Hliníková fólie má dva úkoly. Jednak odvádí teplo, vznikající při vrtání a jednak eliminuje jev odchýlení vrtáku při vnoření do vrtaného materiálu. K onomu odchýlení dochází právě v hliníkové fólii a v plošném spoji je již otvor přímý. Pro uchycení vrtáku se používá vysokoobrátkové vřetení (20.000 až 150.000 otáček /min.) s řízeným vnořením a odsáváním pilin. Optimální rychlost vnoření je rovna poloměru vrtáku za jednu jeho otáčku. Vřetení umí samostatně měnit vrtáky připravené v zásobnících. Vrtáky bývají k dispozici ve škále průměrů od 0,4 mm do 6,3 mm po 0,05 až 0,1 mm. Otvory větších průměrů se frézují. U vyvrtané desky je nutné kartáčováním začistit otřepty děr a dále z povrchu mědi odstranit piliny a mastnoty. Deska se tak připravuje na prokovení otvoru.

Prokovení otvoru se v současné době provádí metodou přímého prokovu. Skládá se z několika kroků. Nejdříve je potřeba vrtané otvory chemicky vyčistit a zároveň narušit povrch základního materiálu, čímž se obnaží skelná výztuha laminátu. Do takto upraveného otvoru se v katalyzační lázni elektrostaticky nanese 0,1 μm vrstvička palladia. Tím se vodivě propojí obe strany plošného spoje ve všech vyvrtaných otvorech. Nakonec se galvanicky nanese 6 až 8 μm mědi (obr. 7.4b).

Dále se provádí **Laminace fotorezistu, osvit motivu a vyvolání negativního motivu**. To je zobrazeno na obr. 4c a 4d. Jako fotorezist se používá 38 μm silná fólie fotocitlivého polymeru, která se v laminátoru naválkuje na prokovenou desku. Při velkosériové výrobě se ovšem používají tekuté rezisty. Na takto připravenou desku se přiloží film s motivem spojů a provede se osvit pomocí 5kW výbojky. Tato operace je citlivá na čistotu prostředí. Částice 10 μm se již jeví jako nečistota. Proto se musí provádět v čistých prostorách, které nesmí obsahovat více než 200.000 částic větších než 1 μm na m³. Film se musí na vyvrtanou a prokovenou desku přiložit s maximální přesností. Pro přesné usazení slouží soutiskové značky, které jsou umístěny v rozích plošného spoje. Film je k desce fixován vakuovým rámem. Osvícený rezist se vyvolá v 1% sodě. Takto vznikne negativní motiv budoucích spojů. Na místech odkrytých fotorezistem se provede **galvanické zesílení mědi** a nanese se **leptuvzdorný rezist** (obr. 7.4e). Tloušťka galvanického zesílení mědi je typicky 20 μm, přičemž poměr mezi tloušťkou zesílení na povrchu desky a v prokovu je 10:9 až 10:8. Jako leptuvzdorný rezist se používá 12 μm silná vrstva cínu a nanáší se opět galvanicky. Poté se **odstraní fotorezist**. Deska je připravená pro leptání. To je zachyceno na obr. 7.4f.



Obr. 7.4: Znázornění *semiaditivního* postupu výroby *dvoustranných plošných spojů*



Obr. 7.5: Reálný profil leptaného spoje

Na obrázku 7.4f nejlépe vynikne výhoda semiaditivní metody výroby plošných spojů. Výsledná tloušťka spojů je větší než odleptávaná hloubka!!! Galvanické zesílení mědi se totiž provádí pouze na odkrytých místech, tedy v místech spojů, pájecích plošek a prokovu. Při leptání dochází samozřejmě k podleptání a tedy čím menší tloušťku mědi leptáme, tím menšího podleptání dosáhneme. Na obrázku 7.4 není ono podleptání znázorněno. Reálný profil leptaného spoje je na obrázku 7.5.

Výsledek **leptání** a následného **odstranění cínového rezistu** je vidět na obrázku 7.4g. V tomto okamžiku je deska připravena pro **testování**. Existují dva druhy testeru – optické a elektrické.

Optický tester – scanuje povrch desky a zjišťuje odchylky testované desky od referenčních dat.

Elektrický tester – měří odpor mezi zadanými místy na desce.

Na otestovanou a očištěnou desku se nanese fotocitlivá nepájivá maska, přiloží se film s odpovídajícími motivy a provede se osvit (obr. 7.4h). Neexponovaná místa jsou vymyta ve vyvolávacím zařízení a maska je tepelně vytvrzena. Úkolem nepájivé masky je chránit měděné spoje před vnějšími vlivy a zakrýt místa, na která nemá být nanесena pájka. Zároveň slouží jako ochrana motivu před nežádoucím zkratováním. Po vytvrzení nepájivé masky následuje žárové nanесení SnPb pájky. Uvedená operace se též nazývá HAL (Hot Air Levelling). Provádí se ponořením desky do tavidla a poté na čtyři sekundy do vany s roztavenou pájkou. Při vynořování se odfouknou přebytky pájky horkým vzduchem (vzduchovým nožem). Síla nanесené vrstvy se pohybuje okolo 10 μm. Výsledek je zobrazen na obrázku 7.4i. Výroba běžných dvoustranných spojů touto operací končí. Následuje už jen formátování na výsledný rozměr. Používají se tři způsoby:

1. Ostříh na padacích nužkách – jedná se o nejjednodušší, nejrychlejší ale zároveň málo přesnou operaci ($\pm 0,25$ mm). Na hranách desky zůstávají otěpy skelného laminátu, a proto je vhodné jejich zabroušení na rovinné brusce. Ostříh není vhodný u desek, které mají být zasunuty do přesných drážek a dále u desek, které přicházejí do styku s lidskou pokožkou (otěpy laminátu). Ostříh se provádí podle speciálních ostříhových značek nebo méně přesně podle orámování obrysu plošného spoje

2. Frézování – provádí se zpravidla na stejném přístroji jako vrtání, pouze se do vřetena uchytí místo vrtáku frézka o průměru 1,5 až 2,5 mm. Přesnost frézování je $\pm 0,1$ mm. Minimální vzdálenost motivu od okraje desky je 1,5 mm.

3. Drážkování – je vhodné při výrobě velkého množství malých desek vedle sebe, které navíc mají být osazovány a pájeny strojně. Výrobce plošných spojů provede pouze oboustranné naříznutí obrysu a destičky zůstanou vedle sebe jako jedna velká deska. Naříznutí ztenčí desku po celém obvodu obrysu na 0,4 mm. Šířka drážky je 0,8 mm. Po osazení se potom jednotlivé destičky snadno oddělí rozříznutím.

Součástí výrobního procesu je také ekologie. Použité lázně z chemických procesu se musejí zneutralizovat ve speciální neutralizační stanici a zbavit se sraženin na polypropylenových membránách tak, aby do splaškové kanalizace odcházela čistá voda. Z uvedeného postupu vyplývá, že se jedná o časově náročný proces. Je ověřeno, že minimální celková technologická doba výroby je vyšší než 7 hodin.

7.2 Výroba vícevrstvých desek plošných spojů

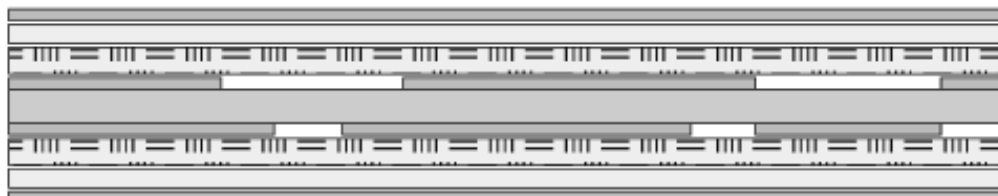
Výroba vícevrstvých desek plošných spojů semiaditivní technologií je odvozena od postupu pro dvoustranné spoje. Obecně je možné vícevrstvé spoje vyrábět buď dalším postupným vrstvením izolačních laminátů a měděných plátů na základní jádro nebo laminací dílčích tenkých dvoustranných desek:

- Nejdříve se vytvoří vodivé obrazce na základním jádru (obr. 7.6a).
- Na jádro se postupně navrství hrubší a jemnější fólie ze skelné tkaniny s pryskyřicí, která není úplně vytvrzená a na ně měděné fólie (obr. 7.6b). Hrubší fólie musí vyplnit a vyrovnat nerovnosti na základním jádru. K jemnější fólii potom dobře přilne měděná fólie.
- Ve výkonném laminátoru (lis s vysokou teplotou a tlakem) se provede vytvrzení celé sestavy (obr. 7.6c).

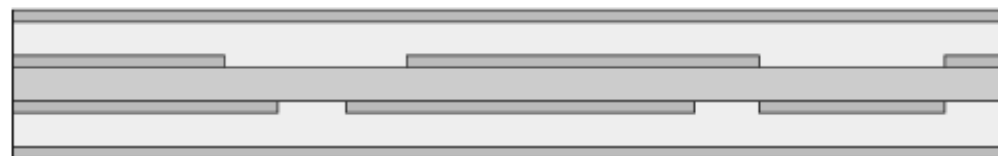
a) Oboustranně vyleptané jádro



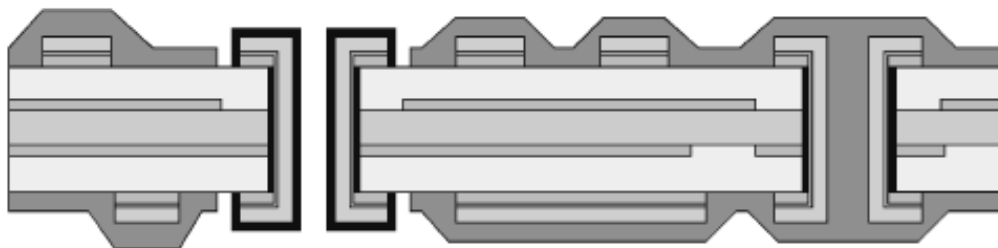
b) Vrstvení fólií nevytvrzených laminátů a mědi



c) Laminace



d) Finální výrobek



Obr. 7.6: Znáznornění postupu výroby čtyřvrstvé desky.

8 Popis vytvořených multimediálních pomůcek

Jako praktickou částí bakalářské práce bylo vytvoření materiálů multimediálního charakteru od seznámení s programem pro navrhování až po návrh desek plošných spojů. K návrhu bylo použito software *Eagle v.4.16* od firmy CadSoft Computer GmbH. V následující kapitole jsou ve stručnosti popsány, čím se v každém videu zabývám a stručný popis. Celkem bylo nahráno a otitulковано 7 videí. Pro nahrávání aktivit na obrazovce bylo použito volně stažitelný a šířitelný program *CamStudio v.2.00*. Ten vše zaznamenává do formátu .avi. Videá mají poměrně velkou velikost, ale to je z důvodu nastavení velké kvality nahrávání, protože při snížení kvality vznikaly zásadní chyby v nahrávání i k výpadku programu. Při správném nastavení však program pracoval bez problému. K videím jsou vytvořeny titulky pro lepší pochopení návrhu desky plošného spoje v programu Eagle. Pro jejich tvorbu je použit také volně stažitelný program *Jubler Subtitle Editor v.3.4.1*. Z několika vyzkoušených programů byl nejvhodnější právě tento. Časová velikost videí je různá, od 1,5 minuty až po 16 minut. Nejkratší video má 34MB a nejdelší 590MB. Celková velikost videí činí 1,91GB. Celková délka nahraného materiálu má 57min a 32 sekund. Níže popsaná videa budou dána jako příloha k bakalářské práci na DVD. Seznam nahraných videí multimediálního charakteru:

Úplný začátek.avi

Toto je úplně první video, které jsem nahrával a slouží nám k názorné ukázce jak např. změníme cestu k uložení souborů, kde se nacházejí knihovny, které jsou aktivní, založení projektu a podobným základním věcem. Délka videa je 1min a 36sekund a velikost 34MB.

Seznámení s editorem schématu.avi

Video s tematikou seznámení se s editorem schématu má 6min a 39 sekund a jeho velikost činí 211MB. V tomto videu se blíže seznámíme s tlačítky používanými v kreslení schématu, práci s rastrem a změnou jednotek délky, změnou barvy pozadí, výběr použitých součástek, je zde na příkladech názorně předvedena činnost popisovaných tlačítek atd.

Vytvoření součástky.avi

Toto video má 13minut a 19 sekund, velikost 456 MB a zabývá se vytvořením v obvodu použitým obvodem NE555. Je zde předveden návrh symbolu, pouzdra a zkompletování součástky, dále pak aktivování námi vytvořené knihovny a výběr naší součástky.

Návrh schématu.avi

Popisované video má 16 minut a 35 sekund a velikost 576 MB. Video se zabývá problematikou spojenou s návrhem schématu podle námi vybraného vzoru, výběr a rozmístění součástek, propojení součástek, změnou šířky spojů, nadefinování net classes, změny názvů a hodnot, přemístění názvů u součástek, předvedení kontroly elektrického propojení atd.

Seznámení s editorem desky.avi

Toto video má 1minutu a 39 sekund o velikost 38,7 MB. V tomto videu je seznámení s editorem a tlačítka, které se používají v tomto editoru.

Návrh desky.avi

Video s tímto názvem má 11 minut a 42 sekund o celkové velikosti 442 MB. V tomto videu jsem nahrál problematiku návrhu desky a rozmístění součástek na desce, propojení pomocí autorouteru, úprava automaticky položených spojů, zrušení a vlastní položení spoje, kontrola technologických parametrů, změna rozměrů desky, vložení osazovacích značek atd.

Export.avi

Toto video má 5 minut a 43 sekund a velikost tohoto videa je 204 MB. Video se zabývá problematikou výstupů z programu Eagle. Je zde zachycena tvorba barevných a černobílých obrázků navržené desky plošného spoje, vypínání a zapínání hladin podle potřeby pro zobrazení a pro následný výstup, prohlídka vytvořených obrázků, vytvoření seznamu součástek atd.

9 Závěr

Zpracováním této bakalářské práce jsem získal základní znalosti v problematice elektromagnetické kompatibility, součástek zlepšující funkčnost desek plošných spojů, technické a výkresové dokumentace k plošným spojům, které jsem využil v praktické části bakalářské práce i v následujícím studiu na VUT. V mé práci je rovněž porovnání metod návrhu desek plošných spojů a také stručně popsane základní technologie, které se používají k výrobě desek plošných spojů.

Cílem bakalářské práce bylo využít získaných poznatků a vytvořit multimediální materiály prezentující jednotlivé kapitoly od návrhu elektronického schématu, přípravu na návrh desek plošných spojů až po problematiku využití výstupů návrhového programu pro další zpracování a fyzickou realizaci navržených systémů.

K vytvoření multimediální prezentace jsem využil otitulkovaná videa, jejichž obsah je popsán v samostatné kap. číslo 8 a jsou vhodná pro lidi, kteří nemají zkušenosti s programem Eagle a chtějí se s ním naučit. Ke tvorbě zmiňovaných videí byl použit právě program Eagle, který je podle mého názoru přehledný a poměrně snadno ovladatelný, tudíž i pro začátečníky. Na videích je zachycen úplný začátek práce s programem, seznámení s editorem schémat, vytvoření vlastní součástky, vytvoření schématu, seznámení s editorem desky, rozmístění součástek a vytvoření vodivých cest. Na závěr jsem předvedl, jak se dělají výstupy z programu Eagle, které se pak dále používají k výrobě. Videa jsou dána jako příloha k bakalářské práci na DVD. K lepší orientaci ve videích jsem vytvořil jednoduché DVD menu. Video není nahráno v kuse, ale pro snadnější orientaci a možnosti spuštění samostatných kapitol je rozděleno na tematické části, které jsou popsane v kap. 8.

Literatura

- [1] ROBERTSON, CH., T.: Printed Circuit Board Designer's Reference. Prentice Hall PTR, 2003, ISBN: 0130674818.
- [2] MONTROSE, M., I.: Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance. IEEE Press, New York 1996, ISBN: 0780353765.
- [3] ZÁHLAVA, V.: Metodika návrhu plošných spojů. Vydavatelství ČVUT, Praha 2002.
- [4] PROCHÁZKA, P., ROZSÍVALOVÁ, Z.: Materiály a technická dokumentace, část: Technická dokumentace. Brno,
- [5] SVAČINA, J.: Elektromagnetická kompatibilita, Brno 2002.
- [6] FILKA, M., VRBA, K.: Telekomunikační projekty – specializované přednášky, Brno 1990.
- [7] MUSIL, V., ZEMAN, P., ŠANDERA, J., ŠPINKA, J., PIVOVAR, T.: Konstrukce a technologie elektronických zařízení, Brno 1994
- [8] ZÁHLAVA, V.: Současné metody profesionálního návrhu plošných spojů. In Perspektivy elektroniky - sborník přednášek. Rožnov pod Radhoštěm, s. 21-28, 2005.
- [9] STARÝ, J., Šandera, J., KAHLE, P.: Plošné spoje a povrchová montáž, PC DIR-REAL Brno, 1999
- [10] <http://www.micer.wz.cz/clanky/c034/smd.html>

Příloha I: Soubor pravidel návrhu desek plošných spojů

V současné době v České republice neexistují žádné platné státní normy ohledně třídy přesností. Třídy přesnosti definují parametry základních objektů na plošném spoji, jako je např. minimální šířka spojů, izolační vzdálenost, minimální průměr vrtaného otvoru a minimální rozměr pájecí vrtané plošky. Nejčastěji se používají následující jednotky:

- 1 inch = 2,54 cm
- 1 mil = 0,001 inch = 0,025 mm
- 1 mm = 39,37 mil

V moderních elektronických zařízeních stále více převládá technologie povrchové montáže. Její výhody jsou všeobecně známé – podstatně menší rozměry a hmotnost výrobků, vysoké úspory materiálu a zlevnění průmyslové výroby zejména při velkých výrobních sériích osazovaných na automatech. K tomu se přidávají i výhody další, lepší parametry u impulsních a vysokofrekvenčních zařízeních, vyšší odolnost vůči vibracím a nárazům – tedy vyšší spolehlivost. V terminologii povrchové montáže se používají dvě základní zkratky:

- **SMT (Surfaces Mounted Technology)** = technologie povrchové montáže.
- **SMD (Surface Mounted Devices)** = součástky pro povrchovou montáž.

Odlišný způsob osazování a pájení klade specifické nároky na počítačový návrh plošných spojů, týkající se zejména tvorby pouzder součástek, rozmístění součástek a způsobu vedení spojů.

Elektromagnetická kompatibilita je definována jako schopnost zařízení, systému či přístroje vykazovat správnou činnost i v prostředí, v němž působí jiné zdroje elektromagnetických signálů (přírodní či umělé), a naopak svou vlastní „elektromagnetickou činností“ nepřípustně neovlivňovat své okolí, tj. nevyzařovat signály, jež by byly rušivé pro jiná zařízení. Všechny přístroje, které mohou při své funkci způsobovat elektromagnetické rušení nebo jejichž funkce může být takovým rušením ovlivněna musí být provedeny tak, aby elektromagnetické rušení, které způsobují, nepřesáhlo přípustnou úroveň, a měly odpovídající odolnost vůči elektromagnetickému rušení.

Mezi obecná pravidla výběru součástek z hlediska elektromagnetické kompatibility bude patřit:

- Výběr součástek s nízkými hodnotami impulzních proudů a s napájecími vývody umístěnými tak, aby umožňovaly návrh proudových smyček s co nejmenší plochou.
- Nepoužívat zbytečně rychlé obvody (náběžné a sestupné hrany).
- Maximální využití součástek SMD
- Bezpodmínečné propojení chladičů se společným vodičem (GND) u součástek s pracovním kmitočtem nad 75 MHz.
- Volba vhodných blokovacích kondenzátorů, filtračních tlumivek, indukčností a ochranných prvků (bude popsáno dále).

- Výběr izolačních prvků (transformátorků, optronů, DC/DC měničů...) s co nejnižšími parazitními vazebními kapacitami a indukčnostmi.

Základní pravidla návrhu plošných spojů z hlediska vyzařování a odolnosti:

- **Minimalizace hodnot proudu** – volba vhodných typu obvodu, výběr obvodu z hlediska vstupních impedancí, správné impedance vůbec.
- **Minimalizace proudových smyček respektive délek spojů** – vhodné rozmístění součástek a vedení spojů, zemnění, rozlévaná měď, správná konfigurace napájecí vstupní i výstupní kabeláže, správné blokování napájení pomocí kondenzátoru.
- **Minimalizace kmitočtového spektra** – nepoužívat zbytečně rychlé obvody (náběžné a sestupné hrany), zbytečně rychlou datovou komunikaci.
- **Filtrace a ochrany napájení a I/O svorek** – ochrana před ESD a přechodovými jevy, omezení vyzařování do vedení.
- **Stínění** – potlačení vyzařování a zároveň zvýšení odolnosti.

Pravidla pro rozmístění součástek:

- Rozmístění součástek směrem od vyšší k nižší šířce pásma (obr. 3.6).
- Vzájemná fyzická separace jednotlivých funkčních bloků (analogový, číslicový, oscilátor, I/O obvody, napájení atd.).
- Minimalizace vzdáleností za účelem minimalizace proudových smyček.

Parametr Aspect Ratio prokovu: je to poměr tloušťky desky a průměru prokovu. Umožňuje (dovoluje) posouzení náročnosti výroby. Čím větší je jeho hodnota, tím je složitější realizace. Maximální hodnota AR je 8.

Součástky zvyšující spolehlivost DPS:

Blokovací kondenzátory:

- **Filtrační** – jako širokopásmový filtr pro napájení celé desky nebo její části, eliminuje vliv indukčností přívodů od napájecího zdroje
- **Lokální** – souží jako lokální zdroje energie pro součástky a redukuje impulsní proudy, které by jinak protékaly celou deskou.
- **Skupinové** – jako zdroj energie pro současné nabíjení několika kapacitních zátěží

Galvanické oddělení vstupu a výstupu pomocí transformátorku nebo optronu od ostatních částí elektronického obvodu představuje nejúčinnější ochranu navrhovaného zařízení.

Přemostění se používá tam, kde z libovolných důvodů není možné použít galvanické oddělení signálu nebo napájení. Jedná se vlastně o propojení I/O země a země zbytku systému (GND) přemostěním izolačního příkopu ve vhodném místě. Pouze nad tímto místem potom mohou procházet signálové spoje a napájení. Napájení je navíc vhodné oddělit tlumivkou.

V rámci zpracování grafické dokumentace se zhotovují tzv. předlohy (obr. 5.2 a) či matrice. Předlohy kresby vodivých obrazců se zhotovují pouze pro I. až III. konstrukční třídu. Pro konstrukční třídy IV až VI musí být zhotoveny přímo výchozí matrice na průhledné polyesterové podložce.

Pro technologickou přípravu i pro výrobu se zpracovávají následující základní dokumenty:

- **Výkres výsledné desky** – obsahuje vyznačení obrysu desky, kóty vnějších rozměrů a tvaru, vyznačení kontrolních bodů.
- **Tabulka kruhových otvorů** – obsahuje data pro souřadnicovou vrtačku, tj. souřadnice středů otvorů s uvedením jejich průměrů;
- **Výkres kruhových otvorů** – udává polohu všech kruhových otvorů do určitého průměru podle požadavků výrobce desek.
- **Výkres vodivých obrazců** – obsahuje kresbu vodivého obrazce, značky pro kontrolní body, kótu kontrolní míry, orientační vyznačení speciálních otvorů a označení desky;
- **Výkres potisku** – znázorňuje stylizovanou kresbu rozložení součástek na sestavené desce, která napomáhá při montáži.
- **Výkres nepájivé masky** – obrazec krytý barvou, která brání nanesení pájky na měď vodivého obrazce při pájení vlnou.

Pro sestavení desky tzn. pro montáž, kontrolu a měření jsou obvykle nutné následující dokumenty:

- Výkres rozložení elektrických součástek,
- Seznam spojů,
- Výkres testovacích bodů,
- Data pro osazovací automat.

V současné době se používají tři druhy výrobních postupů:

- **Subtraktivní** – Subtraktivní technologií je možno vyrábět všechny druhy DPS. Existuje mnoho modifikací lišících se způsobem zesílení vodivých motivů i druhem lepuodolnému rezistu (organicky, resp. anorganický).
- **Aditivní** – Při tomto postupu je obrazec plošného spoje vytvořen jen chemickou mědí bez procesu leptání.
- **Semiaditivní** – Touto metodou je možné vyrábět jednostranné, dvoustranné i vícevrstvé desky plošných spojů.

Příloha II: Obsah přiloženého DVD

DOKUMENTY:

bakalarska_prace.pdf
metadata.pdf

VIDEA:

- uplny zacatek.avi
- seznameni s editorem schematu.avi
- vytvoreni soucastky.avi
- navrh schematu.avi
- seznameni s editorem desky.avi
- navrh desky.avi
- export.avi